钱学森
与现代科学技术

北京大学现代科学与哲学研究中心编

人民出版社

钱学森与现代科学技术

北京大学现代科学与哲学研究中心编

人 民 出 版 社

责任编辑:郇中建　邓仁娥
装帧设计:曹　春
版式设计:程凤琴

图书在版编目(CIP)数据

钱学森与现代科学技术/北京大学现代科学与哲学研究中心编.-北京:人民出版社,2001.12
ISBN 7-01-003495-8

Ⅰ.钱…　Ⅱ.北…　Ⅲ.钱学森-学术思想-研究
Ⅳ.K826.16

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第077448号

钱学森与现代科学技术

QIAN XUESEN YU XIANDAI KEXUE JISHU

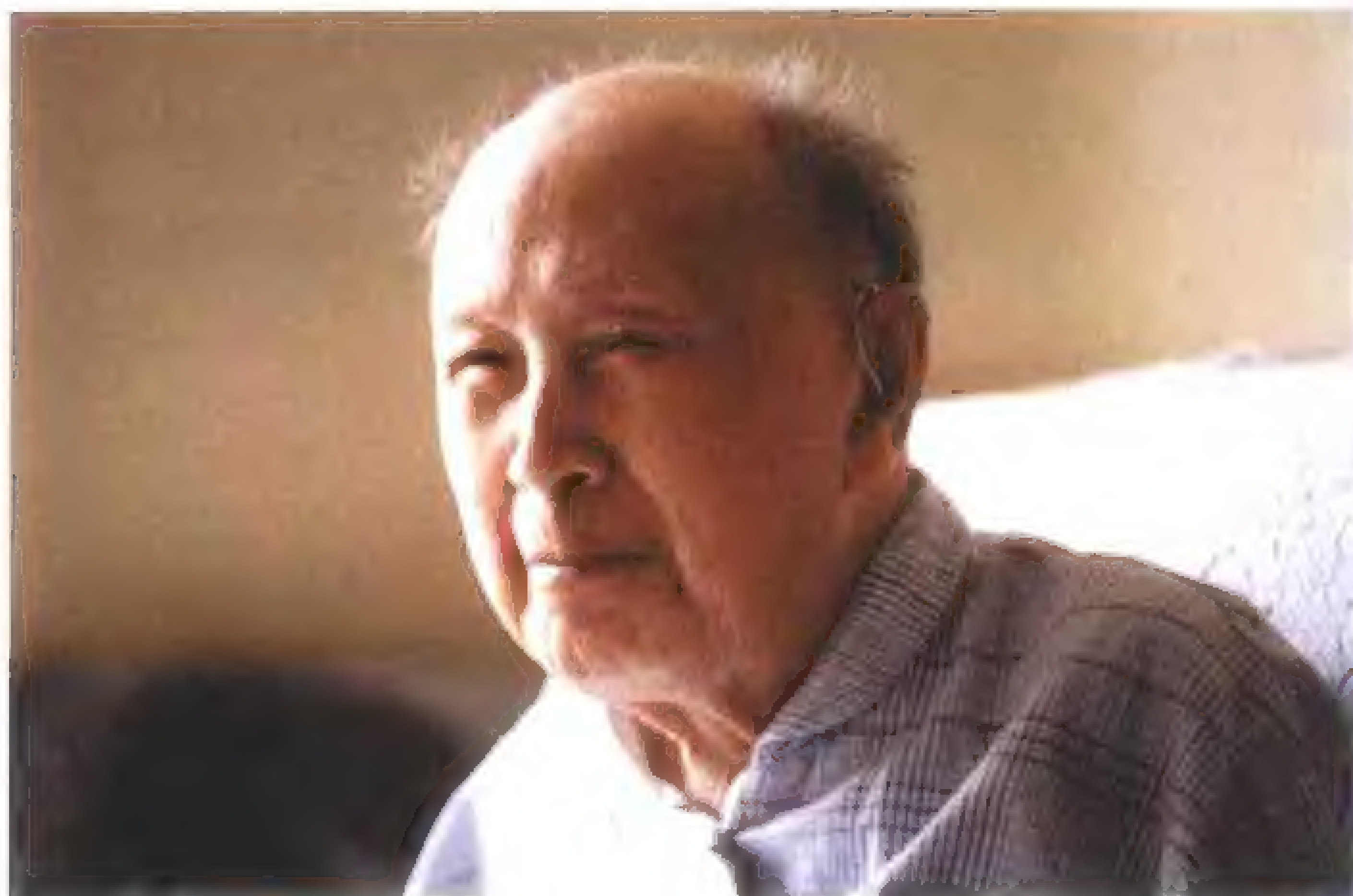
北京大学现代科学与哲学研究中心编

人民出版社出版发行
(100706　北京朝阳门内大街166号)

北京新华印刷厂印刷　新华书店经销

2001年12月第1版　2001年12月北京第1次印刷
开本:850毫米×1168毫米　1/32　印张:16.25
字数:365千字　印数:1-4,000册

ISBN 7-01-003495-8/G·206　定价:39.00元






交流中心
钱学森与现代科学技术研讨会


交流中心
钱学森与现代科学技术研讨会

前　　言

今年12月11日，是世界著名的杰出科学家、中国科学院和中国工程院院士钱学森同志90诞辰。

在半个多世纪的社会实践和科学研究中，钱学森以辩证唯物主义为指导，在应用力学、工程控制论、航天科技、系统工程、思维科学、管理科学、系统科学、地理科学、建筑科学、人体科学、社会科学、技术美学和哲学等领域都进行了开创性的工作；创造性地建构了现代科学技术体系：其中包括11大科学门类，除文艺理论外，每个科学门类又涵盖基础理论、技术科学、应用技术三个层次，基础理论以部门哲学为桥梁上通辩证唯物主义，应用技术通过经验知识与不成文实践感受以社会实践为归结，具体体现着哲学与具体科学之间的相互依赖、相互促进的辩证关系：哲学来自非哲学，具体科学是哲学的基础，具体科学以哲学为思维罗盘，哲学是具体科学的向导；同时，开拓并创立了许多交叉科学，比如，他在对系统科学及其应用的研究和探索中，首次提出了“开放的复杂巨系统”概念，以及处理这类系统的还原论与整体论辩证统一的，从定性到定量综合集成法和大成智慧工程，于正在形成中的这类交叉科学——复杂性科学的前沿探索中，开辟了探索复杂性的一条独特途径。实践表明，钱学森是一位高瞻远瞩、涉猎广博、洞察深邃的战略科学家，对推进现代科学事业的发展做出了卓越贡献。

特别是在老一辈无产阶级革命家的领导下，钱学森同志以他

渊博的知识和对人民事业的极大热忱，为组织领导新中国火箭、导弹和航天器的研究发展工作发挥了重大作用，为我国实现国防现代化立下了永垂史册的功勋。

他几十年来自觉坚持用马克思主义哲学指导自己的研究工作和社会活动，无论在任何政治风浪下，始终忠于党、忠于人民、忠于祖国的科技事业和社会主义事业，是一位具有高尚的爱国主义精神，坚定不移地为社会主义事业奋斗的战士。他是我国爱国知识分子的典范，他的经历体现了当代中国爱国知识分子追求进步的正确道路。

我们北京大学现代科学与哲学研究中心，是在钱学森倡导的“系统学讨论班”的直接启示下建立起来的，是按照他坚持的以辩证唯物主义为指导，适应着现代科学发展的既高度分化又高度综合的大趋势，开展学术研究活动的；自建立（包括其前身现代科学与马克思主义认识论讨论班）12 年来，以不同学科的交叉结合为直接研究领域，以促进不同学科学者之间的联系，特别是科学工作者与哲学工作者的联系为中心任务，从 1989 年 5 月 12 日开始举办的每周一次的跨学科学术讲座已持续进行了 331 次，利用寒、暑假召开的较大的学科交叉研讨会已举办过多次，如近期举办的有：思维科学与哲学研讨会、信息科学技术与哲学研讨会、复杂性探索与哲学研讨会等。

庆贺钱老 90 华诞的最好方式，莫过于把他开创的科学事业推向前进。为此，我们北京大学现代科学与哲学研究中心，于今年 7 月 22 日至 8 月 9 日举办了“钱学森与现代科学技术”大型学术研讨会，希望以此为契机，弘扬钱学森的爱国情操、科学精神、卓越成就和崇高品格，展示中国科学家的风采，鼓励年轻学子献身祖国科学事业；也以开展学术研讨会这种国内外通行的圣洁的形式一并

表达我们对钱老的深情厚谊与最良好的祝愿;同时,又是在前次关于复杂性问题研讨的基础上,从更加广泛深入的角度、从联系的总体上对复杂性探索的深化。

这次研讨会,有来自北京大学、中国人民大学、同济大学、北京联合大学、清华大学、中国科学院、中国工程院、军事科学院、航天科技集团、第二炮兵总体论证所、总装备部、建设部、农业部、中央党校等单位的学者专家教授150余人,出席了会议。

在开幕式上,宋健院士作了《向钱学森院士学习》的主旨报告;国务院发展研究中心原副主任马宾同志谈了参加钱学森倡导的系统学研讨班的感受;北京大学校长许智宏院士在讲话中着重谈了钱学森的卓越贡献,并明确提出:钱学森是一位战略科学家。

会议围绕着钱学森在各个领域的卓越贡献,就钱学森的现代科学技术体系与综合集成方法论、钱学森的科学科观、钱学森论力学、钱学森论控制论、钱学森与中国航天科技、钱学森与系统科学、钱学森与思维科学、钱学森论军事科学、钱学森论地理科学、钱学森论建筑科学、钱学森论管理科学、钱学森论知识密集型草产业、钱学森论产业革命、钱学森论科学与艺术、钱学森论大成智慧、钱学森与辩证唯物主义、钱学森的科学活动成就及人品等17个题目,进行专题研讨。研讨的具体做法是:采取重点先导发言与集体深入讨论相结合的讨论会形式,围绕中心内容集思广益、各抒己见。这有助于大家对讨论的问题获得全面而深入的共识。

这次在大会作专题导引发言的同志,一般来说,不仅在其学科领域具有精深的学术造诣,而且对钱学森在该领域的突出贡献有比较深入的了解,有些同志则是于较长时间内在钱老身边工作,直接接受他的指导、聆听他的教诲,对他的了解更加深刻入微。加上这些同志基于发展我国科学事业、社会主义事业的强烈的事业心

与责任感，以及满怀对钱老的崇敬之情的内在能动性，大力投入，精心准备，竭力将研究取得的新成果、新思想反映到报告中来，所以这些重点发言都是高水平的，博得了与会者的广泛好评。

参加这次会议的各部门、各学科的同志，一般也都是怀着弘扬钱老的科学精神、学习钱老的崇高品质的共同目的走到一起来了。人数之多是以往历次研讨会不能比拟的。他们之中有像朱兆祥研究员、李佩教授、郑哲敏院士、吴全德院士、徐光宪院士等老一辈科学家，又有好些年富力强、学有专长、学术生长点旺盛的中青年学者。总的来说，都具有较高思想水平、学术水平，广阔的学术视野，较强的感知观察力与逻辑判断力，加之他们积极参与，踊跃发言、畅抒己见。这是搞好研讨的坚实的群众基础与重要保证。

个人的智慧是有限的，而群众的智慧是无穷的，单一学科的眼界是相对狭窄的，而多学科的交叉结合则是视野开阔、洞察深刻的。校内外多学科、多部门的同志齐聚一堂，集中时间、精力，在一段时间内分专题进行连续报告讨论，具体实施了钱老倡导的社会思维实践，形成了交叉互补的整体优势，集大成得智慧，从而取得了可喜的思想成果。这些成果，初步集中地凝集在经过讨论修改充实的一系列的专题报告之中。

《钱学森与现代科学技术》一书，就是在这些专题报告的基础编辑而成的。这些专题是以钱学森的研究领域为依据，按照编辑专著的要求设定的。不同学科领域不是彼此孤立而是相互关联的；钱学森对不同学科的涉猎不仅在时间上有先后顺序，而且在认识上也是有发展的。本书除前言、序言、附录以外，对 18 个专题（其中，"钱学森论沙产业"也是我们预设的报告之一，因别的缘故而未能在研讨会上报告）是按照逻辑与历史相统一的原则，并兼顾不同学科的内在联系，进行排序建构逻辑体系，从而形成统一整体

的。其中大致包括：总论、专论、哲学基础与价值取向三大部分。

宋健院士、马宾同志与许智宏院士在开幕式上的讲话，强调了向钱老学习，集中反映了研讨会与本书的主旨，作为本书的序言是理所当然的。钱学森的科学技术体系与钱学森的科学观两题，涉及对钱学森科学成就和学术思想的总体评价，构成总论部分。接下来的14个题目，是各就一个领域或侧面专题论述钱老在这方面对现代科学技术的贡献，是本书的专论部分。

专论作为本书的主体，又大体分为两类：一类是钱老在该领域的开拓研究中有系统的具体的工作，因而被公认为该领域的科学家，以“钱学森与××科学”为标题，力学是一个例子。另一类是钱老在该领域虽无系统的具体的工作，不算那个领域的科学家，但他提出了大量深刻的高屋建瓴的思想观点，引起行家的高度重视，以“钱学森论××科学”为标题，地理科学就是一例。当然，这样划分也是相对的。

最后两题，“钱学森与辩证唯物主义”与“钱学森：科技界的一面旗帜”，集中反映了钱学森的现代科学技术体系与科学思想的哲学基础与价值取向，是本书的第三部分。可见，本书具有较强的系统性、理论性，并非一组论文的外在加和，而是具有内在逻辑联系的一部研究“钱学”的专著。

从交流报告提纲到专题报告草成，从专题报告草成到经过大范围内的报告、讨论并充实修改使专题报告形成，经过两次集思广益，集中群众智慧；在此基础上，按专著的逻辑体系和以一贯之的更高要求修改、统纂，集结成书，是又一次更高阶段的集思广益，集中群体的智慧。从成书的过程来看，它具有比较坚实的科研基础、群众基础，是群策群力、群体智慧的结晶。因此，从总体来说，它能够比较准确、深入地反映钱学森的科学精神、科学思想、科学成就

和崇高品德，具有较强的科学性。

前边已提到，专题报告的执笔者们不仅在其学科领域中有较深的学术造诣，而且对钱老在该领域中的突出贡献也有比较深入的了解。他们作为本书的主要撰稿人基于对反映内容的比较透彻的了解，在内容的表述上就可能做到深入浅出、通俗易懂。加上，本书除了正文之外，还有部分讨论发言摘要、钱学森的部分通信、名词解释等作为附录，内容比较充实、丰富，具有较强的可读性。

钱老在半个多世纪的科研活动中，涉猎广博、尊重实践，孜孜不倦地追求真理、坚持真理，思维敏锐、洞察深邃，不断有所创新，贡献卓著，人格高尚。我们研讨的内容及其在书中所反映的部分仅仅是其中的一些方面，而且是十分初步的，有待于进一步扩展、深化与完善。

我们作者、编者由于实践地位、知识积累与思想水平有限，对钱老的科学思想、科学成就的反映，对群众讨论所取得的成果的概括，难免存在这样或那样的不足和缺点，书中定有疏漏、差错和欠妥之处，恭请广大读者批评指正。

序 1

向钱学森院士学习

钱学森是20世纪中国发展科技事业坚定的旗手，导弹卫星这样的大科学工程的创始人和领导者，是中国"两弹一星"的元勋。由于在现代科学的很多领域的杰出贡献，他成为世界级科学家，受到全世界科学技术界的尊重和赞扬。今天我们共同回顾钱老的科学技术成就和对中华民族的贡献，研究他的学术思想和哲学观点，学习他在科学技术上勇于创新的精神，表达我们对他的敬意和90华诞的祝福，具有重要现实意义。

钱老1911年12月11日出生于上海。1929年考入上海交大机械工程系。1934年考取清华大学公费留学生。1935年去美国，先在麻省理工学院获硕士学位，1936年转至加州理工学院，师从冯·卡门(von Kármán)从事应用力学研究，1939年获航空、数学博士学位。1946年又回到麻省理工学院任教，1947年36岁时晋升为正教授，1949年再回到加州理工学院。1948年中国的解放战争胜利前夕，他准备回国，退出了美国空军科学咨询团，辞去美国海军炮火研究所顾问职务，为回归祖国做好了准备。但是此后受到美国政府麦卡锡主义的阻挠和迫害，被扣留长达5年之久。在党中央、毛主席和周总理的亲切关怀下，他于1955年10月回到祖国，立即满腔热情地投入祖国的科技发展和国防建设事业。回国

后，他与钱伟长院士共同筹组了中科院力学所，担任首任所长，当选为中国应用和理论力学学会、中国力学学会、中国自动化学会的第一任理事长。1956年出任国防部第五研究院院长，主持创建了中国火箭、导弹和航天事业第一个研究设计机构。1958年开始，他主持了中国科学院卫星技术领导小组，开创了中国空间技术事业，后来出任空间技术研究院第一任院长。1965年以后，他担任第七机械工业部副部长、国防科工委副主任，长达22年之久，一直是领导中国航天事业的科学主帅。

在半个多世纪内，钱老倾注了他的心血和力量，为祖国贡献了他的全部智慧和科学创造力，发挥了他在组织管理庞大系统工程方面的卓越领导才能，为我国科学技术事业作出了极其重大的历史性贡献。1991年，国务院、中央军委授予他“国家杰出贡献科学家”称号和全军一级英模奖章。1999年，中共中央、国务院、中央军委授予他“两弹一星功勋奖章”。

由于他在科学研究和工程技术多方面的杰出成就和贡献，中国、美国的科学机构和国际学会多次授予他科学技术最高奖，赋予他“世界级科学与工程名人”称号。

钱老90年的经历，他所走过的充满艰辛、奋斗和取得辉煌成就的历程，是中国现代科学技术从无到有、从弱到强发展过程的缩影。他是20世纪中国先进知识界的卓越代表，是我国科技界的一面旗帜。

钱老的科学知识渊博，兴趣广泛，他的科学著作、科学思想涉及的领域很广。在他的科学著作和领导中国航天事业的工作中，对我们教益最深的有下列几个方面。

一、在科学技术工作中始终坚持辩证唯物主义和历史唯物主义

像大多数当代世界科学名家一样，钱老始终以马克思主义的辩证唯物主义哲学原理作为研究和观察问题的立足点和出发点。他不断地、反复地公开申明自己的信念：所有当代科学技术都应该归入到马克思主义辩证唯物论哲学指导下的知识体系之中，只有在马克思主义哲学原理的指导下，科学研究和工程技术才能取得真正的新成就，否则就会走弯路或步入歧途。

马克思主义哲学是概括了人类优秀的思想成果（特别是近代以来自然科学新成就）和科学地总结了人类的发展历程而创立的。它批判地继承和发展了费尔巴哈（1804—1872）的唯物论基本内核，吸收了黑格尔（1770—1831）哲学的合理内核——辩证法，实现了哲学史上的伟大革命变革，成为当代科学的哲学体系。马克思以后的120年来世界近代史和所有重大自然科学发现及技术科学成就都无一例外地证明了马克思主义哲学的正确性，因而为世界自然科学界和技术科学界普遍接受，形成了不言而喻和家喻户晓的规范守则。有的科学家不是自觉的，有的迫于政治形势，不便于公开宣布这一点。钱老比科学界大多数人更深刻地感到，邓小平同志倡导的"实践是检验真理的惟一标准"、"实事求是"这些哲学观点是现代科学技术早已千百次证明了的真理。十一届三中全会后，他如久旱逢甘霖，心花怒放。伯牙鼓琴志在高山，钟子期知音意在流水，钱老欢欣鼓舞地拥抱这个高山流水时代的到来。

钱老公开申明并要求科技界处处坚持以马克思主义哲学指导自己的科技活动，是出于他深刻的科学思想，对世界自然科学成就

的充分把握，对自己半个多世纪的科学研究、科学试验和技术实践的经验总结，和由此产生的对马克思主义哲学坚定不移的信念。

在领导和主持研制火箭、导弹、卫星技术工作中，在千百次地面和靶场发射试验中，他从不听虚无飘渺的假设，他要的是试验数据。他要求故障分析必须找到切实的原因，只有在地面上能确凿无误地多次复现这种故障之后，他才相信故障或事故原因找到了，才允许放飞。他领导五院技术工作时所提出的"把故障消灭在地面"的原则，已成为航天部门约定俗成的传统行为规范。在领导和主持航天事业中他从不相信假设，不放过一个疑点，只有试验结果和合乎科学技术原理的解释才能使他放心。他从来对侥幸心理和对故障、差错的掩饰持严厉批评态度。对未经科学试验所证明的故障、事故从不放过，宁可收兵回府，把问题彻底解决了以后，才会同意重新进场试验。

在早期和后来的研究工作中，钱老一直坚持通过科学试验数据核对后才能肯定理论推理的正确与否。例如，早在1939年他和冯·卡门的名作"可压缩流体的二维亚声速流"中的 Kármán 钱公式，是经过风洞试验结果肯定后才成为二战前后被广泛采用于机翼设计和制造的标准计算方法的。

钱老从青年时代起，在科学研究和工程实践中就以具有多领域的科学造诣、丰富的想象力、敏锐的科学直觉和勇于创新的精神而著称。他对未来科学方向的探索提出过很多创新性思想，对各学科中的中青年一代都产生了解放思想、鼓励创新的推动作用。

我不以为天下最伟大的政治家、科学家、艺术家中会有一位是没有缺点的完人。"金要足赤，人要完人"是不可能实现的。晶有位错，瑕不掩瑜，世事古难全。要求钱老的论文、讲话、关于未来科学的遐想等都必须是毫无瑕玷的真理，所有的观察或得到的信息

都必须是万分准确的，那是不公道的。我们从他的科学著作、辉煌成就和对各学科发展方向的指导等各方面都可以鲜明地看到，钱老是马克思主义在科学界的旗手，是在实践中能创造性地应用马克思主义哲学原理的一位杰出科学家。

二、洞悉科学和技术的辩证关系

面对中国的历史和现实，在执行科教兴国战略的过程中如何处理科学研究和工程技术这两方面工作的关系，正确制定这两个领域的方针政策，是过去20年科学界讨论的重大问题之一，对中国当前和未来的建设和发展具有重要的现实和长远意义。

1978年在全国科技大会上，邓小平同志提出科学技术是生产力，并且重申知识分子是工人阶级的一部分的著名论断，为中国的科技事业开拓了一个新时代。1982年中央提出科学技术要面向经济建设，经济建设要依靠科学技术的方针。1985年中央颁布了《关于科技体制改革的决定》。1988年小平同志又进一步提出科学技术是第一生产力。1995年中央决定在全国实施科教兴国战略。这是中华民族历史上第一次把科学技术提升到国家战略的高度，明确了科技和教育在现代化建设中的地位。2001年，江泽民同志在建党80周年的庆祝大会上又进一步指出，科学技术是先进生产力的集中体现和主要标志。

科学界和工程技术界一直在讨论这个问题。报刊上发表了很多文章，论述科学和技术的区别和联系。为了不挑起这方面的争论，我们一直把科学技术合成一个词，叫“科技”，科技体制、科技工作、科技兴省、科技兴华等等，但问题并没有完全解决。

最近我才看到，钱学森早在1948年在《技术和技术科学》(En-

gineering and Engineering Science）一文中就清楚地、辩证地阐明了两者的关系。在该文中，他说："人们也许会说，在工业时代的开创时期，技术和科学研究就与工业发展有关，那么为什么今天把研究工作说得如此重要？这个问题的答案是，出于国内和国际竞争的需要，现代工业必须以越来越高的速度发展。做到如此高的发展速度，就必须大大强化研究工作，把基础科学的发现几乎马上用上去。也许，没有什么比把战时雷达和核能的发展作为例子更为突出的了。雷达技术和核能的成功开发为盟方取得第二次世界大战的胜利做出了重要贡献是公认的事实。短短数年，紧张的研究工作把基础物理学的发现，通过实用的工程，变成了战争武器的成功应用。这样，纯科学上的事实与工业应用间的距离现在很短了。换句话说，长头发纯科学家和短头发工程师的差别其实很小，为了使工业得到有成效的发展，他们间的密切合作是不可少的"。

"纯科学家与从事实用工作的工程师间密切合作的需要，产生了一个新的行业——工程研究家或工程科学家。他们成为纯粹科学和工程之间的桥梁。他们是将基础科学知识应用于工程问题的那些人……"[1]

50年前，钱学森就提出技术和科学研究"都是国家富强的关键"。科学研究应为工程技术提供新原理、新概念、新目标、新途径、新方法、新技术等系统的理论基础与基础技术，促进和带动新产业和高技术的建立和发展。为了达到这样的目的，必须充分掌握自然科学的最新成果，并具备深厚的理论基础，同时又能深刻了解工程中存在的基本问题。因为工程师们面临的是多因素、复杂的实际问题，科学家必须善于从这些实际问题中找到主要矛盾，创立有充分自然科学依据的，能被工程师用于设计的、有预测能力的定量理论。在科学研究中，技术科学家的目标是建立近似的实用

理论，当发现自然科学的已有成果不够用时，也需要吸收和运用工程中经验性的规律和判断。所以技术科学在这一点上不同于基础科学。另一方面，技术科学又不同于工程技术，因为它的中心目的是研究和解决某类工程技术中带有普遍性的问题，而主要不是一个个具体的工程技术问题。他还认为，数学和计算数学作为一种工具在技术科学中占有十分重要的地位。

钱学森50年前的这一论断，把科学研究细分为基础科学研究，如天文学、数学、物理学等，和技术科学研究，如力学、电子学等两个方面，并阐明了它们与工程技术之间的关系。他的这一分析对当前我国科技政策的制定仍具有重要的指导意义。

基础研究和技术科学研究向工程技术源源不断地提供新知识、新概念、新方法，使工程技术迅速进步，从而使后者充分发挥推动人类文明进步的发动机作用，成为科学发现和产业发展之间的桥梁。反过来，工程技术的实践又向基础科学和技术科学不断提出新的问题、新的现象和新的需求，开扩研究的视野，为形成新命题提供营养，对理论进行检验以至修正。

三、对控制论和系统科学的贡献

钱学森早期的主要研究领域是应用力学、喷气推进、物理力学和工程控制论等。他在美国受难期间，1950年开始研究控制论。1951—1954年期间，他和他的学生们发表了一系列有关工程控制论的文章，并于1954年出版了《工程控制论》一书，在全世界引起了轰动，并且使提出控制论这个概念的维纳（Norbert Wiener，1894—1964）名声大振。如果没有钱学森《工程控制论》的问世，曾被当时苏联人污为“伪科学的创造者”和“帝国主义战争贩子的帮

凶"的维纳很难在他去世前成为科学界家喻户晓的英雄。

控制论学科的出现通常是从维纳的书《控制论——动物和机器中的控制和通讯》(Cybernetics or Control and Communication in the Animal and Machine, 1948)开始的。该书发表后,在哲学界曾引起轩然大波。此书副标题把动物和机器并列。人也是动物,把人与机器等同起来,有亵渎人类尊严之嫌,惹怒了不少哲学家,就像哥白尼把地球从宇宙的中心搬到太阳系的一个角落而触怒了教皇一样。

当时苏联的哲学界首先发起攻击,称控制论是一种反动的伪科学,是现代机械论的一种新形式。还有更严重的批评说,控制论是为帝国主义服务的战争工具。数学家维纳当时在苏联和东欧曾被视为反动的伪科学家和帝国主义的帮凶。

1954年,钱学森著《工程控制论》在美国出版以后,迅速被译成德、俄、法、中文出版。作者系统地揭示了控制论对自动化、航空、航天、电子通信等科学技术的意义和深远影响。书内未触及到人类这种动物的尊严,写的全然是技术科学。包括苏联在内的国际科学界立即接受了这一新学科,从而吸引了大批数学家、工程技术专家从事控制论的研究,推动了五六十年代该学科发展的高潮。庞特里亚金[2]的极大值原理和卡尔曼[3]的可观、可控制性定理和递推滤波器等,都是在此期间内出现的。在这种形势下,原持批判态度的哲学家们只好放下武器,悄悄修改了各辞书中的词条,肯定控制论是一门研究信息和控制一般规律的新兴科学。

1957年在巴黎成立国际自动控制联合会(IFAC)筹委会,中国是发起国之一,钱学森当选为第一届理事会成员。1960年9月在莫斯科举行IFAC第一届世界代表大会,全世界控制论科学家咸集于莫斯科大学礼堂。维纳受到了英雄般的接待。66岁的他,已显

得苍老。听别人做报告时鼾声大作，毫不顾及自己是人们注视的焦点。见到中国代表团时，热情地用中文讲话，说他1935年在清华大学做过客座教授，为此感到骄傲。各国与会者，包括钱学森的崇敬者和故交，都为钱不能出席这个盛会而感到遗憾。钱学森当时担任国防部第五研究院院长，受命领导建立中国航天科学事业，他无暇顾此。且值中苏关系剧变，1960年8月苏联刚撕毁协议，撤走专家，周总理和聂帅不会同意这位中国航天事业的科技主帅去冒无谓的风险。与会者只好相互吟诵《工程控制论》序言中史诗般的名句来表达对他的敬意："建立这门技术科学，能赋予人们更宽阔、更缜密的眼光去观察老问题，为解决新问题开辟意想不到的新前景。"后来钱老对我说，研究工程控制论只是为了转移美国特务们的注意力，争取获准回归祖国，当时没有想到会建立一门新学科。

在控制论科学理论和应用领域取得巨大成就的同时，信息技术和运筹学并驾齐驱，出现了相互渗透和融合的趋势，应用范围从工程领域延伸到工程管理系统，形成了"系统工程"的科学概念和方法。钱学森由于所承担工作的性质和长期的工作经历而敏锐地注意到这种态势。早在世界上第一本关于系统工程的著作[4]出现以前，他在加州理工学院担任喷气推进中心(JPC)主任时就注意到运筹学的发展和意义。回国以后，他在国防部五院创立了总体设计部，按系统工程的方法组织实施火箭、导弹、卫星等复杂系统的论证、研制、试验和交付工作。正如他后来总结的那样：系统工程是组织管理"系统"的规划、研究、设计、制造、试验和运行的科学方法，是一种对所有"系统"都有普遍意义的科学方法。我国国防尖端技术的实践，已经证明了这一方法的科学性[5]。

在钱学森的主持下，50年代末，在国防部第五研究院成立了作战运筹研究室。按他的倡议，1956年在中国科学院力学所成立

了由许国志主持的运筹学组，后来扩大成研究室。1961年在中国科学院数学所成立了由关肇直和我主持的控制论研究室。中国后来30多年发展的实践充分证明了这些措施的正确性和远见性。

由于钱学森担负责任的重大，十年动乱期间，受到了毛主席、周总理亲切而有力的保护，在极其困难的条件下，得以不间断地履行职责，减少了航天事业的损失，领导航天部门继续取得新成就。在那高处不胜寒的年代，浑噩中的迷惘，风云突变的惶遽，直言和嗫嚅之失衡，科学逻辑与"政治运动"的碰撞，以及研讨厅习俗与政治传统的冲突等，他都碰到过。得益于周总理的指导，使他摆脱世间烦扰，专心致志于科学和技术工作。十一届三中全会以后，他从迷惘和郁悒之中醒来，一改15年的沉默和嗫嚅，意气风发，言无不尽，对很多科学技术问题发表了意见和阐述了他的科学思想，这是很宝贵的。

60年代以来，由于微电子和计算机技术迅猛发展和广泛普及，渗透到社会生产、生活和科学技术的每一角落，带动了与系统科学与各相关学科的突飞猛进。各国很多科学家开始研究系统科学。贝塔朗菲(Von Bertalanffy)的一般系统论[6]、普里高津(I. Prigogine)等人的热动力学系统论[7]、哈肯(H. Haken)的协同论[8]等，是欧洲各国关于系统论的代表作。80年代以来，对系统工程和系统科学的研究和应用在中国进入了一个新的高潮，除自然科学之外，在经济、军事、法律、教育等领域中也都有科学家参与[5,9]。钱学森密切注视着系统科学的发展，于1979年总结了系统科学的体系结构，阐明了它与马克思主义哲学和自然科学、社会科学的关系。钱学森和他的合作者们广泛地研究了系统科学的结构、内涵、应用等方面的命题，指明了这门科学对中国现代化建设的现实的和长远的重大意义。

计算机会做的事情越来越多，向系统科学提出了严峻的挑战。自然界有很多复杂的巨系统，科学界至今不能理解它，不会准确地描述它，也没有合适的工具和手段来处理它，如社会系统、生态系统、生物进化系统，特别是人体系统。美国有人开始对复杂的巨系统进行研究，他们称之为巨大的复杂性研究。钱学森和他的合作者们提出了处理复杂巨系统新的方法论，把理论、经验和专家判断结合起来，从定性到定量综合集成（Meta-Synthesis），以及“从定性到定量综合集成研讨厅体系”等。这是由信息采集、处理、存储和智能专家系统综合集成的，人机结合、以人为主的系统。综合集成方法为解决复杂巨系统的定量研究指出了一条可行的道路。

近年来，让系统科学界最为兴奋的是，许多政治家开始广泛地应用系统科学的概念、理论方法和语言去处理社会问题。每当遇到复杂的问题时，政治家们常说，这是一个复杂系统工程问题，应该用系统的观点和方法进行分析和解决。系统工程的概念和科学方法能广泛进入中国社会，钱学森的推动起了重要作用。这一形势激励着系统科学家们振奋精神，坚持探索，迎接这个新的挑战。

四、提出处理复杂系统的方法论

研究复杂系统是当代不少物理学家、天文学家、数学家、计算数学家、系统科学家、生物学家等从不同角度大规模研究的热点问题，为此成立了一批专门研究机构。钱学森是这一研究方向的积极倡导者。如前所述，他提出了很多新的思想，新的方法，并对目前的各国研究工作作出了评价。这对系统科学的发展，特别是对研究复杂系统，例如物理学和生物学中的混沌现象以及生命的起源等，有重要的指导意义。

最近的争论是:现有的物理学、数学、信息科学、生物理论是否能构成研究复杂系统的理论基础?有的物理学家认为,现有理论不足以描述如生命这类复杂的客体过程。如澳大利亚 Adelaide 大学物理学教授 Paul Davis[10] 和物理学家 Murray Gell-Mann[11] 都持这种观点。P.Davis 和一批人深信,对复杂系统还应该有一些新的物理、生物或数学原理尚未发现。例如,应该有一个新的“自组织进化原理”(Self-organizing Principle)去描述如生命的产生和进化这样一些复杂过程。他甚至引用政治家的话:不同发展阶段的事物或社会,必有不同的发展规律。也有不少人,特别是有些粒子物理学家则认为,现有的理论,最多加上“大统一场论”和统计力学,就足以解释和研究宇宙中的一切可能的过程和现象。

从最近出版的《钱学森手稿》一书中可以清楚地看到,在1938—1955年期间,钱学森研究过很多较复杂的系统,如超、亚声速空气动力学、跨声速的基本理论、弹性体的屈曲、火箭动力学、物理力学、高温高压下的流体和光谱吸收计算、气动力下的化学反应等等。这些论文有很多是过去没有发表过的。从他的这些著作中可以看到,他总是从物理学和数学的基本理论出发,认为这应该是工程技术的基本立足点。如果研究的现象十分复杂,则应该在基础理论的框架下予以简化,现在叫粗粒化(Coarse graining),从而得到能抽取和描述事物主要特征的近似理论,经过科学或技术试验来检验这种近似或粗粒化是否正确。著名的“von Kármán-钱近似公式”就是沿着这个途径得到的。他在研究物理力学一些复杂问题时,始终是从量子力学和热力学的基本理论出发,经过合理的简化而得到基本框架,叫“笼子”模型,再把一些试验结果定量化引入模型,从而得到与实验一致的液体和稠密气体的状态描述,以及高温高压下的气体性质和辐射光谱计算等十分重要的结果。

近几年，钱老倡议把基础理论和现代计算机技术中的人工智能相结合，形成一种新的方法，叫 Metasynthesis，这是他的另一个重要思想。他一直认为，在技术科学中，要大胆地把试验结果和经验数据与基础理论合理地结合起来去研究和解决新问题和复杂问题。前几年，我请教过他，他还是坚持这个思想。如果自然科学现有知识不足，那么要努力去建立和发现新的理论、新的概念和新的方法，这些概念、理论和方法应该不与已经过证实的基本理论矛盾，而应该相洽。在这种理论尚未建立以前，当然技术专家们有权利和责任采用经验方法去处理当前的急务，这是工程技术人员的职责。

当前的情况是，缺乏研究复杂系统的具体理论，无论是严密的或近似的都缺乏。很多人都相信，我也认为，研究复杂系统，只有沿着数百年来自然科学家和工程技术专家们所走过的辉煌道路前进，才能取得突破性进展。全靠经验、数据组合或个别特殊现象的剖析很难得到有真正科学意义的成就。

最近我遵循钱学森倡导的思想，研究了一个问题：高维函数或流形在可视相空间的最优表达，提出了一种对复杂数据和函数做近似或粗粒化、可视化的方法。不少数学家、计算数学家和控制论专家的反映认为，这对研究复杂系统可能是一个很有用的方法。这个方法的提出和证明是从基础理论出发得到最优近似，有如钱老和郭永怀先生共同用过的 P—L—K 奇异摄动法去研究复杂现象那样。这篇小作已在 2001 年 6 月《科学通报》中文版上发表，8 月的《科学通报》英文版刊发了英文稿，请各位批评指正。

钱老 60 多年的科学技术成就和对中华民族的贡献是巨大的，将永载史册。我认为，他是 20 世纪中国科技界的巨擘和楷模，是中华民族的英雄。继续研究和学习他的科学思想，科学创新精神，

忠于实践的科学态度，始终不渝的奋斗献身精神，和他对祖国、对人民的无限忠诚，对我们和后来人坚持实施科教兴国战略，创造21世纪中华民族的辉煌，具有重要意义。

参 考 文 献

1 见郑哲敏、谈庆明、涂元季、崔季平编:《钱学森手稿》(1938—1955)，山西教育出版社，2000，第412—425页。
2 Понтрягин А С, Другие МатематичЕская Теория Оптимальных Процесов, Физматгиз Москва, 1961。
3 Kálmán R E Optimal nonlinear control of saturating systems, IRE Wescon. Convention Record, Part4, 1957。
4 Goode H H, Machol R E. System Engineering, Mc Grow-Hill, New York, 1957。
5 钱学森:《论系统工程》(增订本)，湖南科学技术出版社，1988。
6 von Bertalanffy L. General System Theory, G. Braziller, 1968。
7 Glandorff P, Prigogine I., Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuation, Willey, 1971。
8 Haken H, Synergetics, Springer, 1977(哈肯:协同学(中译本)，原子能出版社，1984)。
9 乌杰:《系统科学理论与应用》，四川大学出版社，1996。
10 Davis P., The Cosmic Blueprint, Penguin Books, 1989。
11 Gell-Mann M., The Quark and the Jaguar, W.H.Freeman and Company, 1994。

序 2

参加钱学森倡导的系统学研讨班的感受

我由上海宝钢调到北京搞经济研究后，在学习马克思主义政治经济学的同时，学习从亚当斯密到萨缪尔逊的西方经济学，特别关注数学在经济学中的应用，如投入产出、经济计量模型等。为此，请教航天部710所，与他们合作建立宏观国民经济管理模型。此后，一方面研究经济模型，同时有机会参加钱学森同志倡导的系统学讨论班，以后从未间断过。参加系统学讨论班的人虽不多，但涉及的学科很广。参加者或者提请讨论班用系统工程方法解决他们的问题，或者介绍他们的研究，如设计一个具体工程时采用系统科学的方法等。我们搞经济科学的特别关心并赞成采用定量分析方法，这也是马克思提倡的。后来钱老总结为定性与定量相结合的经济分析方法。

我参加钱老倡导的大讨论班，实际上更多注意学习的是钱老善于从系统工程上升到系统科学，又上升到马克思主义哲学。列宁曾对一位大数学家批评过，说他是伟大的数学家，但是渺小的哲学家。现在有的伟大的科学家似乎都是些渺小的哲学家。世界公认爱因斯坦是伟大的科学家，因为他同时也是伟大的思想家。这也如同恩格斯所说过的，一个伟大的民族，时刻不能离开理论思

维。从钱老的治学方面说，他体现了这一点。我看了本书的目录，所列专题，我差不多都参加了，包括“钱学森论思维科学”，“钱学森与辩证唯物主义”等，其中技术科学论文没有一篇不是与马克思主义哲学方法论联系的。

钱学森拳拳服膺马克思主义哲学，无处不表现出来。钱学森88诞辰时，我们去看望他老人家，他讲了许多关于毛主席的事。钱老说，他从美国回国后，一直从事导弹研制。有一次讨论中国研制导弹问题，休息吃饭的时候，毛主席来看望他们，中间问道：你们讨论了导弹，有矛必有盾，你们讨论了反导弹没有？钱老跟我们说，当时有人不理解，认为我们研制导弹八字还未见一撇，怎么会想到搞反导弹。毛主席不是导弹技术专家，他是从《矛盾论》领悟到的。

讨论班曾讨论到航天部管理经验，值得现代社会主义大企业的管理学习。钱学森同志向中央建议，他认为中国社会主义建设，包括物质文明建设、精神文明建设和政治文明建设，以及作为环境基础的地理文明建设，都是社会主义建设的组成部分。使四个方面协调发展，即为社会主义文明建设的系统工程，党和政府是这一社会主义文明建设系统工程的总指挥部，作为总指挥部的决策支持系统的参谋部是总体设计部。钱学森同志这一思想，为中共中央所重视，1991年“三八节”，在中央政治局会议上作了介绍，中央并作了决定，予以应用。

系统科学的发展，系统分析方法的应用，和系统工程的实践经验，使我们认识到国民经济是一个大系统，国民经济建设是一个大系统工程。“两弹一星”的任务就是我国在总体设计部有效地运用系统工程原理下完成的。周恩来生前曾指出：“要考虑把航天部总体部的经验推广到国民经济的各个方面。”“两弹一星”就是政治、

经济、科技和精神文明的系统工程的成功范例，它们是复杂的大系统。我们党一贯强调系统的战略思想，如“统筹兼顾，全面规划”，“局部服从整体”，“全国一盘棋”等。在建议成立总体设计部的同时，建议要完善统计、会计和国家预算，建立能与国际比较的我国国民经济核算体系，建立投入产出表、资金流量表等，建立全国经济信息系统的数据库、国家与国际信息网络。总体设计部把专家群体所掌握的科学理论、知识判断力集中起来，对经济系统进行定性分析，用经验数据和资料作定性与定量相结合的分析。后因某些因素的干扰，未能试行下去。

大讨论班作为科学讨论形式，值得专门总结。钱学森同志倡导的大讨论班，培养了一大批学者和工程专家，祝它永存，发扬光大！

序 3

学习钱学森先生的创新精神

今天，我非常高兴"钱学森与现代科学技术"研讨会在北京大学举行。首先，我代表北京大学，也代表中国科学院向这次研讨会的召开表示热烈的祝贺！

钱学森先生是一位国内外著名的科学家，他在力学和系统科学的一系列研究领域，如空气动力学、壳体稳定、火箭与喷气推进、控制理论等，都做出过重要贡献。同时，钱老也是中国科技界一位杰出的战略科学家和领袖人物，对于推动我国科学技术的发展做出了卓越的贡献。

这次研讨会将围绕钱老的一生，总结他对科学技术界的贡献，总结他的人生的方方面面。我想，这对于我们今天举国上下落实科教兴国的战略，以及推进"21 世纪教育振兴计划"，都有非常重要的意义。

钱老是一位非常杰出的爱国科学家。解放后毅然决定从美国回国，但 1950 年 8 月启程回国时，遭到美国政府的阻挠，对他进行诬陷和迫害，致使钱老回国愿望的实现推后了五年之久，直到 1955 年秋才回到祖国的怀抱，并当即投入到我们祖国的科学技术事业之中。

钱老很多学术上的成就，回国后得到了进一步的发展。他的

专著《工程控制论》1954 年在美国出版，获得了 1956 年国家自然科学一等奖，此书先后译成俄、德、中文出版，奠定了工程控制论的基础，对自动化科学技术理论的发展起到了重要的推动作用，也为我国的计算机技术、航天技术、光子技术的发展，为两弹一星的研制成功，以及为一大批高新技术的发展奠定了基础。

江总书记讲，创新是一个民族的灵魂。钱老的一生是不断创新的一生，同时钱老也是自觉地应用辩证唯物论的哲学观指导他毕生的科学事业的典范。

我想，这些都是我们科技界、教育界应向钱老好好学习的。今天社会各界都在讲人才的重要性，我们总结钱老的一生可以看出，一个杰出科技人才对于一个国家的科技发展的重要性。所以，今天我们要同样地把培养优秀的青年人才，作为科技和教育界一件非常重要的事情。

最后，祝这次研讨会圆满成功！

目　　录

总　论

钱学森的现代科学技术体系与综合集成方法论

钱学森同志的成就与贡献，思想与品德，他的科学精神、科学思想、科学方法，是我们中华民族宝贵的精神财富，永远值得我们学习。我们有幸在钱老直接指导下，从事系统工程和系统理论研究，得到过他的很大帮助。在这些交往中，使我们深深体会到，钱老作为一位真正的科学家，关心的是祖国振兴，献身的是科学事业，追求的是科学真理。

学生时代的钱学森就已表现出杰出的科学才能，他的老师冯·卡门曾高度评价道："钱和我一起解决了许多数学问题。我发现他很有想象力，他善于将自然现象中的物理图景直观化，并将这种能力与他的数学天赋很好地结合起来。尽管他是个青年学生，但已能在一些很难的课题上帮助我澄清自己的一些想法。这样的天才是不多见的。我和钱成了亲密的同事。"[1]

在钱老丰富多彩的科学生涯中，他的研究领域有应用力学、喷气推进与航天技术、工程控制论、物理力学、系统工程、系统科学、思维科学、人体科学、科学技术体系与马克思主义哲学等[2]。研究工作从工程技术到技术科学、基础科学直到哲学。这样广阔的研究空间，充分体现了他的理论和实践紧密结合、科学技术与马克思

主义哲学紧密结合的研究特色。他所取得的成就和作出的贡献，充分显示出“钱学森是一位杰出的科学家、思想家。他把科学理论和火热的改造客观世界的革命精神结合起来；一方面是精深的理论；一方面是火热的斗争，是‘冷’与‘热’的结合，是理论与实践的结合。这里没有胆小鬼的藏身处，也没有自私者的藏身地，这里需要的是真才实学和献身精神。”[2]

在钱老的科学历程中，有一个非常突出的显明特点，就是他的系统思维和系统思想，这是他取得各种成就的重要原因之一。从早年在美国加州理工学院“喷气推进中心(JPC)”担任主任和讲座教授到创建工程控制论，以及回国后在力学所组建运筹学研究室，直到后来主持我国导弹航天事业中系统工程的运用，都体现了这个特点。

20 世纪 70 年代末以来，他花费了很大心血，并把主要精力集中在系统工程的推广应用和系统科学理论的探索和研究上。他的系统思想更有了新的发展，进入了新的阶段，达到了新的高度。

我们想从以下三个方面来说明钱学森的系统思想、系统方法、系统理论和系统应用：1.建立现代科学技术体系结构，这是面向社会认识层面的，也就是理论方面；2.建立社会主义建设体系结构，这是面向社会实践层面的应用研究；3.提出由“从定性到定量综合集成方法”和“从定性到定量综合集成研讨厅体系”构成的综合集成方法论，这是支持上述两个方向研究的科学方法论与方法，它们的关系可用(图 0—1)来表示。1991 年 10 月，在国务院、中央军委授予他“国家杰出贡献科学家”称号仪式上的讲话中，钱学森说：“我认为今天科学技术不仅仅是自然科学工程技术，而是人类认识客观世界、改造客观世界整个的知识体系，而这个知识体系最高概括是马克思主义哲学。我们完全可以建立起一个科学体系，而且

现代科学技术体系结构

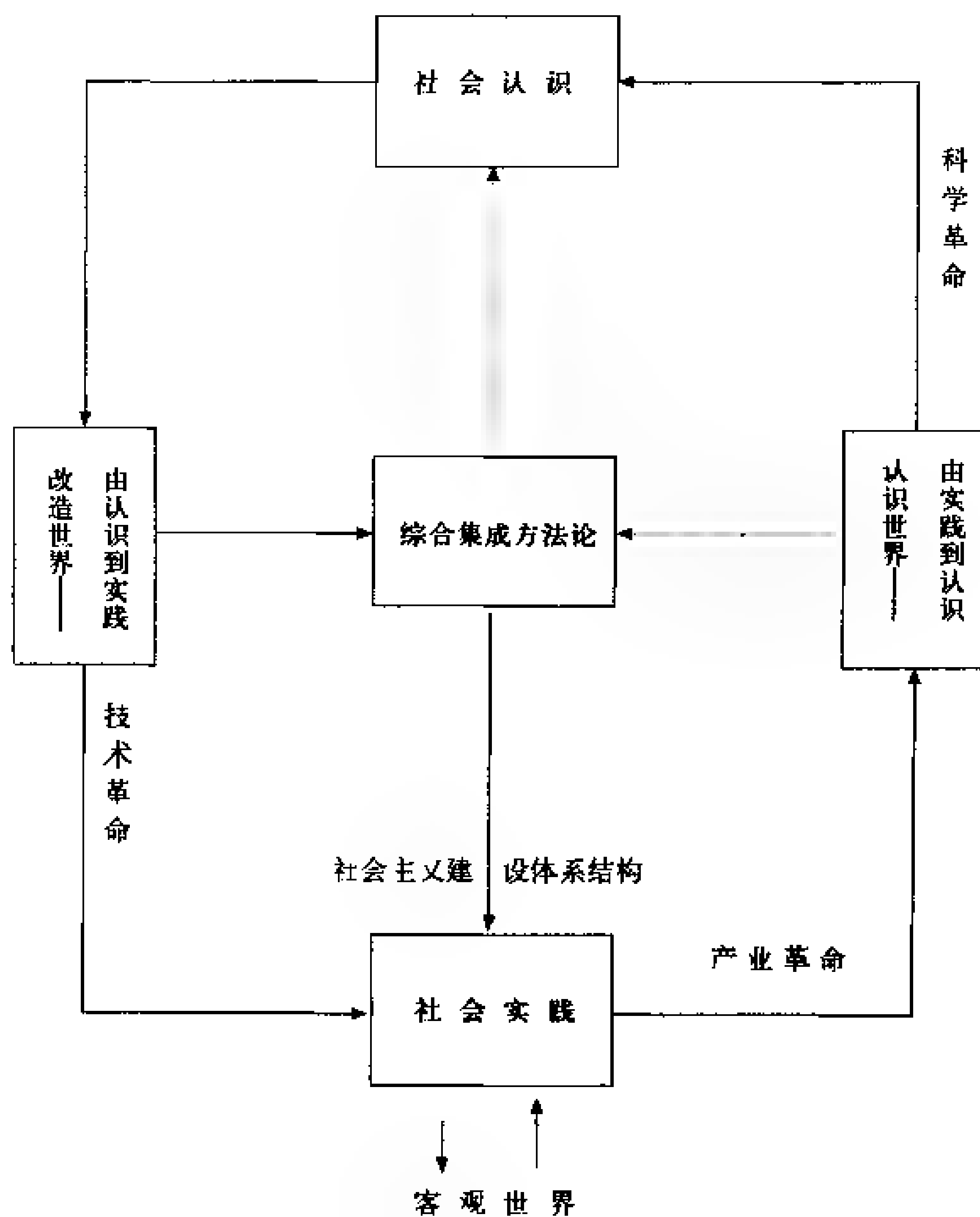


图 0—1

运用这个体系去解决我们中国社会主义建设中的问题。”并说：“我在今后的余生中就想促进一下这件事情。”[3] 介绍以上三点内容也想说明钱老是如何实现这个心愿的。

下面，将分别进行讨论。

1. 现代科学技术体系结构

钱学森是一位自觉应用马克思主义哲学指导自己研究工作的科学家。他在给一位朋友的信中说：“我近 30 年来一直在学习马克思主义哲学，并总是试图用马克思主义哲学指导我的工作。马克思主义哲学是智慧的源泉！”[2] 正是在马克思主义哲学指导下，他运用系统思想建立了现代科学技术体系结构。

社会实践是人类最基本、最主要的活动。人类是通过社会实践来认识客观世界的。长期的社会实践使人类掌握了大量的知识和智慧。在这些知识中，有一部分经过研究、概括和提炼而成为理论，同时又被实践证明是对客观世界规律的正确认识，并能用来改造客观世界，这部分知识就是我们通常所说的科学知识。随着社会的发展，科学技术的进步，科学知识的积累也就越来越丰富。

现代科学技术的发展，已经取得了巨大成就。今天人类正探索着从渺观、微观、宏观、宇观直到胀观五个层次时空范围的客观世界[4]（图 0—2）。其中宏观层次上就是我们所在的地球，在地球上又诞生了生命、生物，出现了人类和人类社会。所有这些研究已形成了众多科学领域和学科，而且新领域、新学科还在不断涌现。钱学森指出：“现代科学技术不单是研究一个个事物，一个个现象，而是研究这些事物、现象发展变化过程，研究这些事物相互之间的关系。今天，现代科学技术已发展成为一个很严密的综合起来的

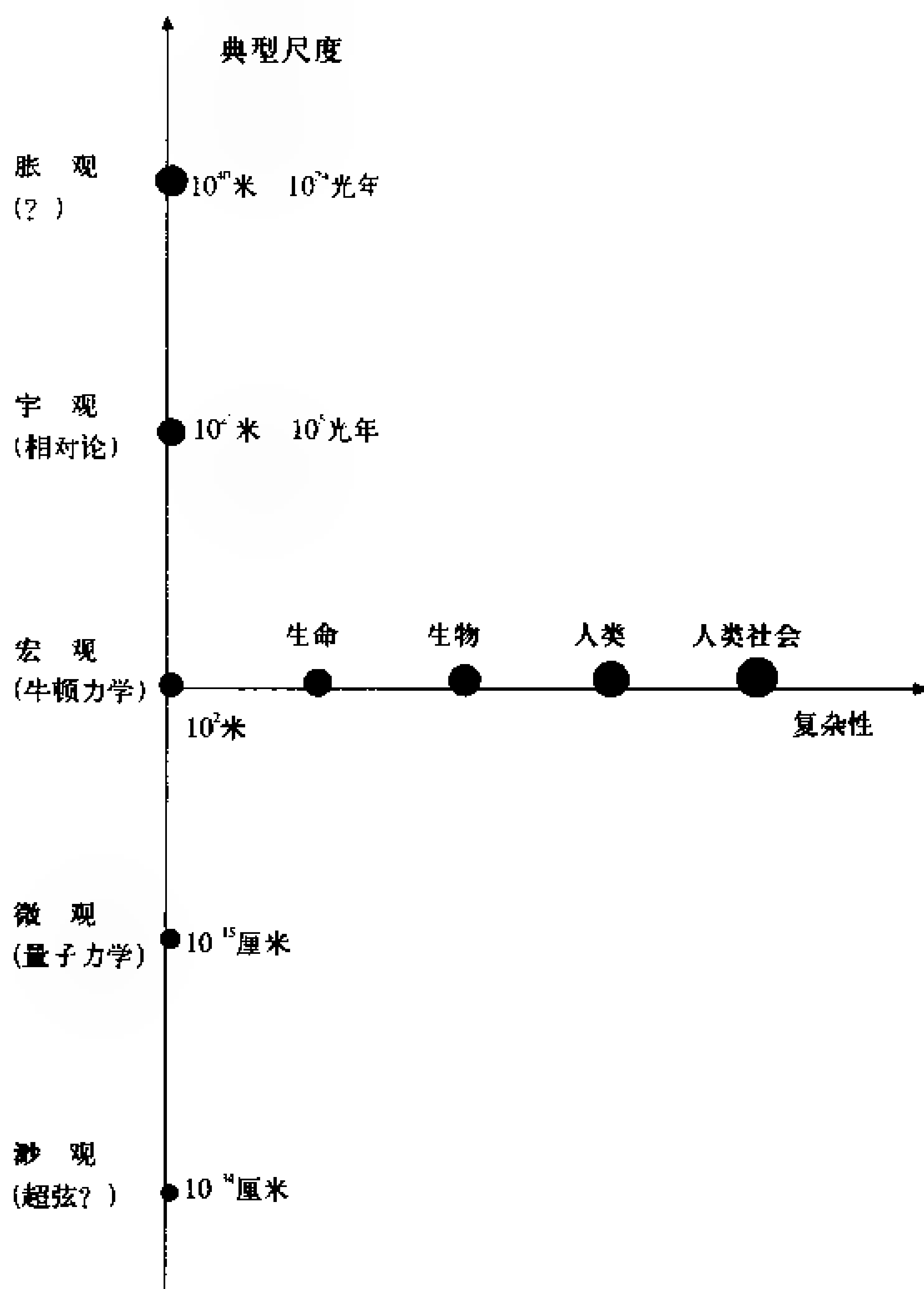

典型尺度
胀　观
(？)
10^{40}米　10^{24}光年
宇　观
(相对论)
10^{21}米　10^{5}光年
宏　观
(牛顿力学)
10^{2}米
生命
生物
人类
人类社会
复杂性
微　观
(量子力学)
10^{-15}厘米
渺　观
(超弦？)
10^{-34}厘米

图　0—2

体系，这是现代科学技术的一个很重要的特点。”[5]

从整体上来看，现代科学技术所研究的是整个客观世界。客观世界包括自然的和人工的，而人也是客观世界的一部分。从不同角度、不同的观点和不同的方法研究客观世界不同问题时，现代科学技术又产生了各种不同的科学技术部门。例如，自然科学是从物质在时空中的运动、物质运动的不同层次、不同层次的相互关系这个角度来研究整个客观世界的；社会科学是从人类社会发展运动，即从人类社会内部运动以及人类社会发展运动和客观世界的相互影响这个角度来研究整个客观世界的；数学科学是从质和量的对立统一，质和量相互转变的角度去研究整个客观世界的；系统科学是从部分和整体、局部与全局以及层次关系这样的角度去研究客观世界的；……。正是从系统思想出发，钱学森提出了现代科学技术的矩阵式结构[6]（图0—3）。从横向上看有十一大科学技术部门，从纵向上看有三个层次的结构。这十一个科学技术部门是自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学、行为科学、人体科学、军事科学、地理科学、建筑科学、文艺理论。这是根据现代科学技术发展到目前水平所作的划分，今后随着科学技术的发展，还会产生出新的科学技术部门。所以，这个体系是动态发展的系统。

在每一个科学技术部门里都包含着认识世界和改造世界的知识。科学是认识世界的学问，技术是改造世界的学问。自然科学经过一百多年的发展，已形成了三个层次的知识：这就是直接用来改造客观世界的应用技术（或工程技术）；为应用技术直接提供理论基础和方法的技术科学；以及再往上一个层次，揭示客观世界规律的基础理论，也就是基础科学。技术科学实际上是从基础理论到应用技术的过渡桥梁。钱学森指出，这三个层次的知识结构，对



人类知识体系结构

图　0—3

其他科学技术部门同样是适用的。这是很重要的科学划分，很有启发性。惟一例外是文艺，文艺只有理论层次，实践层次上的文艺创作，就不是科学问题，而是属于艺术范畴了。

现代科学技术是不是包括了所有人类从实践中获得的知识呢？实际上，人类从实践中所获得的知识远比现代科学技术体系所包含的科学知识丰富得多。科学知识的特点是，不仅能回答是什么，还能回答为什么。但人类从实践中还获得了大量的感性知识和经验知识，这部分知识的特点是只知道是什么，还不能回答为什么，所以进入不了现代科学技术体系之中。我们把这部分知识称作前科学。尽管如此，这部分知识对于我们来说仍然是很有用的，我们也要十分珍惜。前科学中的感性知识、经验知识，经过研究和提炼，可以概括成为科学知识，从而进入到现代科学技术体系之中，这就发展和深化了科学技术本身。同时，人类不断的社会实践，又会继续积累新的经验知识，丰富了前科学。人类社会实践是永恒的，上述这个过程也就永远不会完结，这个过程的持续进行也就推动着科学技术不断地向前发展。人类社会发展史也充分证明了这一点。从这里可以看出，现代科学技术体系不仅是动态发展系统，而且也是一个开放的演化系统。

马克思主义哲学是人类对客观世界认识的最高概括，也是科学技术的最高概括，它不仅是知识、更是智慧。辩证唯物主义反映了自然界、人类社会和人的思维发展的普遍规律。因此，现代科学技术的发展，应该坚持马克思主义哲学的指导作用。另一方面，现代科学技术的发展，也为马克思主义哲学进一步概括和发展提供了丰富的材料，这又推动着马克思主义哲学的发展。基于马克思主义哲学与科学技术的这种互动关系，钱学森提出了上述十一个科学技术部门通向马克思主义哲学的十一座"桥梁"，它们都属于

哲学范畴，分别概括了十一个科学技术部门中各自带有普遍性、规律性的知识。自然科学过渡到马克思主义哲学的桥梁是自然辩证法；社会科学的过渡桥梁是历史唯物主义；数学科学的桥梁是数学哲学；系统科学的桥梁是系统论；思维科学的桥梁是认识论；行为科学的桥梁是人学；人体科学的桥梁是人天观；军事科学的桥梁是军事哲学；地理科学的桥梁是地理哲学；建筑科学的桥梁是建筑哲学；文艺理论的桥梁是美学。钱学森认为"把马克思主义哲学放在科学技术体系最高层次也说明了马克思哲学的实质：它决不是孤立于现代科学技术之外的，它是和现代科学技术紧密相连的。也可以说，马克思主义哲学就是全部科学技术的科学，马克思主义哲学的对象就是全部科学技术。"[5] 这也是马克思主义哲学区别于其他哲学的一个根本特点，它是科学的哲学。

综合以上所述，从前科学到科学再到哲学这样三个层次的知识，就构成了人类的整个知识体系。

现代科学技术体系有着清晰的系统结构：横向的层次结构，纵向的部门结构。辩证唯物主义告诉我们，客观世界是由无数相互联系、相互依赖、相互作用的事物与过程所形成的统一整体。从这个观点来看，作为反映客观世界规律的各个科学技术部门之间也是相互联系、相互影响、相互作用的有机整体。这个体系结构，反映出了钱学森研究现代科学技术发展的系统观和整体观。

现代科学技术体系给予我们的重要启发，就是要充分发挥这个体系的综合优势和整体力量，特别是不同科学技术部门的相互结合，就更能提高我们认识世界的水平和改造世界的能力。邓小平同志指出，科学技术是生产力而且是第一生产力，从现代科学技术体系来看，这里的科学技术就不单是指哪一个科学技术部门，而应该是整个现代科学技术体系。如果把这里的科学技术只理解成

自然科学技术的话，那至少是不全面的。钱学森曾指出："研究社会科学的目的与研究自然科学和技术的目的没有什么不同，社会科学同样是提高人民物质生活和精神生活水平的工具，而且是不可缺少的工具，那么，为什么不能说社会科学是生产力呢？如果说科学技术是生产力，这里说的科学技术要包括社会科学。"[7]

我国正在实施科教兴国战略，依靠科技和教育来建设强大的社会主义国家。那么这里"科"的内涵是什么呢？从上边对科学技术是第一生产力的理解，那么这个"科"也不能单纯理解成某一个科学技术部门，而应是现代科学技术体系。如果把这个"科"只理解成自然科学技术，大家知道，苏联的自然科学技术并不比美国差，有些方面甚至比美国还要强。但结果不但没有兴国反而解体了。这个事实启发我们，在高度重视自然科学技术的同时，更要重视现代科学技术的整体作用。现代科学技术体系是人类认识世界和改造世界长期积累的宝贵财富，我们应该而且能够运用这个体系去解决我们中国社会主义建设中的问题。

2. 社会主义建设的体系结构

钱学森在面向实践问题时，同样表现出他的系统思维和系统思想。他用系统观点考察社会时，明确提出一个社会或国家是个开放的特殊复杂巨系统，即社会系统。这样来认识社会是对社会实际的一种科学概括。有了这样的概念就为应用系统科学和系统工程来研究和解决社会问题开辟了一条新的途径和方法。

1979年，钱学森等发表了《组织管理社会主义建设的技术——社会工程》[8]，到了80年代中期，在《新技术革命与系统工程》[9]与《研究社会主义大战略，创立社会主义现代化建设的科学》[10]等

文章，都是根据社会形态的概念，从整体上来研究社会主义建设的组织管理问题，到了90年代初又有了新的发展，提出了社会主义建设的系统结构，特别是在“我们要用现代科学技术建设有中国特色的社会主义”[6]一文，他的这些思想表达得更为完整。

社会形态这个概念是马克思首先提出来的，它是一定历史时期社会经济制度、政治制度和思想文化体系的总称，是一定历史阶段上，生产力和生产关系，经济基础和上层建筑的具体的、历史的统一。把社会形态概念和社会系统结构结合起来，尽管社会系统很复杂，“但从宏观角度看，这样复杂的社会系统，其形态，即社会形态最基本的侧面有三个，这就是经济的社会形态、政治的社会形态和意识的社会形态。”[11]社会形态三个侧面是相互联系、相互影响、相互作用的，从面构成一个社会的有机整体，形成了社会系统结构。

经济的社会形态是指经济制度，包括生产方式、经济体制等；政治的社会形态是指社会政治制度，包括国家政权性质、管理体制、法律制度等；意识的社会形态是指思想文化体系，包括伦理道德，以及哲学、科技、文学艺术、教育、宗教等。经济的社会形态是基础，它决定了政治的社会形态和意识的社会形态。意识的社会形态不仅受经济的社会形态的影响，还要受政治的社会形态的制约。同时，意识的社会形态对政治的社会形态和经济的社会形态又有相对独立性和能动的反作用。政治的社会形态对经济的社会形态有强大的反作用。

从社会进步和发展角度来看，社会形态的三个侧面都处在不断运动和变化之中，而飞跃式的变化，就是我们通常所说的革命。“经济的社会形态的飞跃就是产业革命，政治的社会形态飞跃是政治革命，意识的社会形态飞跃是文化革命。社会形态的变化、飞跃

就是社会革命，但社会革命可由不同侧面引起，而且具有不同性质，产业革命、政治革命和文化革命都是社会革命。"[9] 人类社会发展，从原始社会、奴隶社会、封建社会、资本主义社会、社会主义社会直到共产主义社会，都是从政治的社会形态来说的。

钱学森关于产业革命与技术革命、科学革命的关系，有过系统论述。他指出："科学革命是人类认识客观世界的飞跃，技术革命是人改造客观世界技术的飞跃，而科学革命、技术革命又会引起社会整个物质资料生产体系的变革，即产业革命。在今天，科学革命在先，然后导致技术革命，最后出现产业革命。"[6] 这里所说的科学革命不仅有如牛顿力学、相对论、量子力学等自然科学的科学革命，也有马克思创立历史唯物主义和剩余价值理论的社会科学的科学革命，用系统观点和方法研究客观世界的系统科学的出现，也是科学革命，……等等。同样，技术革命除了历史上已经出现过的蒸汽机、电力、核能技术等技术革命外，特别是当前以计算机、网络和通信技术为核心的信息技术革命，这将引起一场对人类社会影响更加深刻、更加广泛的产业革命。此外，我们还要看到"系统工程在组织管理技术和方法上的革命作用，也属技术革命。"[6] 从这里也可以看出，现代科学技术不仅是人类认识和改造客观世界的强大武器，也是推动人类社会进步的强大动力。

相应于社会形态的三个侧面，从社会发展和文明建设来看，也有三种文明建设：这就是相应于经济的社会形态的经济建设，即物质文明建设；相应于政治的社会形态的政治建设，即政治文明建设；相应于意识的社会形态的思想文化建设，即精神文明建设。结合我国实际情况，钱学森提出了我国社会主义建设的系统结构[12]：(1)社会主义物质文明建设，包括科技经济建设、人民体质建设；(2)社会主义政治文明建设(文件中通常称作民主与法制建设)，包

括民主建设、法制建设、政体建设；(3)社会主义精神文明建设，包括思想建设和文化建设。这就是我国社会主义文明建设的三个方面。但国家和社会发展，还要受到所处地理环境的影响，这也就是系统科学中的系统与其环境的关系。社会系统环境是地理系统，为使社会系统和地理系统协调发展，必须进行地理系统建设，即地理建设；(4)我国社会系统环境建设，就是社会主义地理建设，包括基础设施建设、环境保护和生态建设。概括起来，我国社会主义现代化建设包括了上述社会主义三个文明建设和地理建设，共四大领域九个方面(图0—4)。在这九个方面中，科技经济建设是中心，这也符合邓小平同志提出的经济建设为中心和科学技术是第一生产力的思想。

由于社会形态三个侧面的相互关系，也就决定了社会主义三个文明建设之间也是相互联系、相互影响、相互作用的。物质文明建设是基础，决定和制约着政治文明建设和精神文明建设，同时，精神文明建设和政治文明建设对物质文明建设又能产生巨大反作用，它既可以起推动作用，也可以起阻碍甚至破坏作用，它们是物质文明建设的精神动力，并决定着物质文明建设的方向和速度。地理建设是为社会主义文明建设提供持续和稳定的物质基础和优良的环境条件，也就是当今人类共同关心的可持续发展问题。

从系统观点来看，系统组成部分以及与其环境之间只有相互协调，才能获得最好的整体功能。从这个意义上说，社会主义三个文明建设以及它们和地理建设之间，必须协调发展形成良性循环，才能使我国社会主义建设的速度更快、效率更高、效益更大。反之，如不协调，那么社会主义建设事业就会受到影响，甚至造成巨大损失。在我国社会主义建设过程中，已有大量事实证明了这一点。我国的改革开放，从根本上来说，就是改革那些影响四大领域

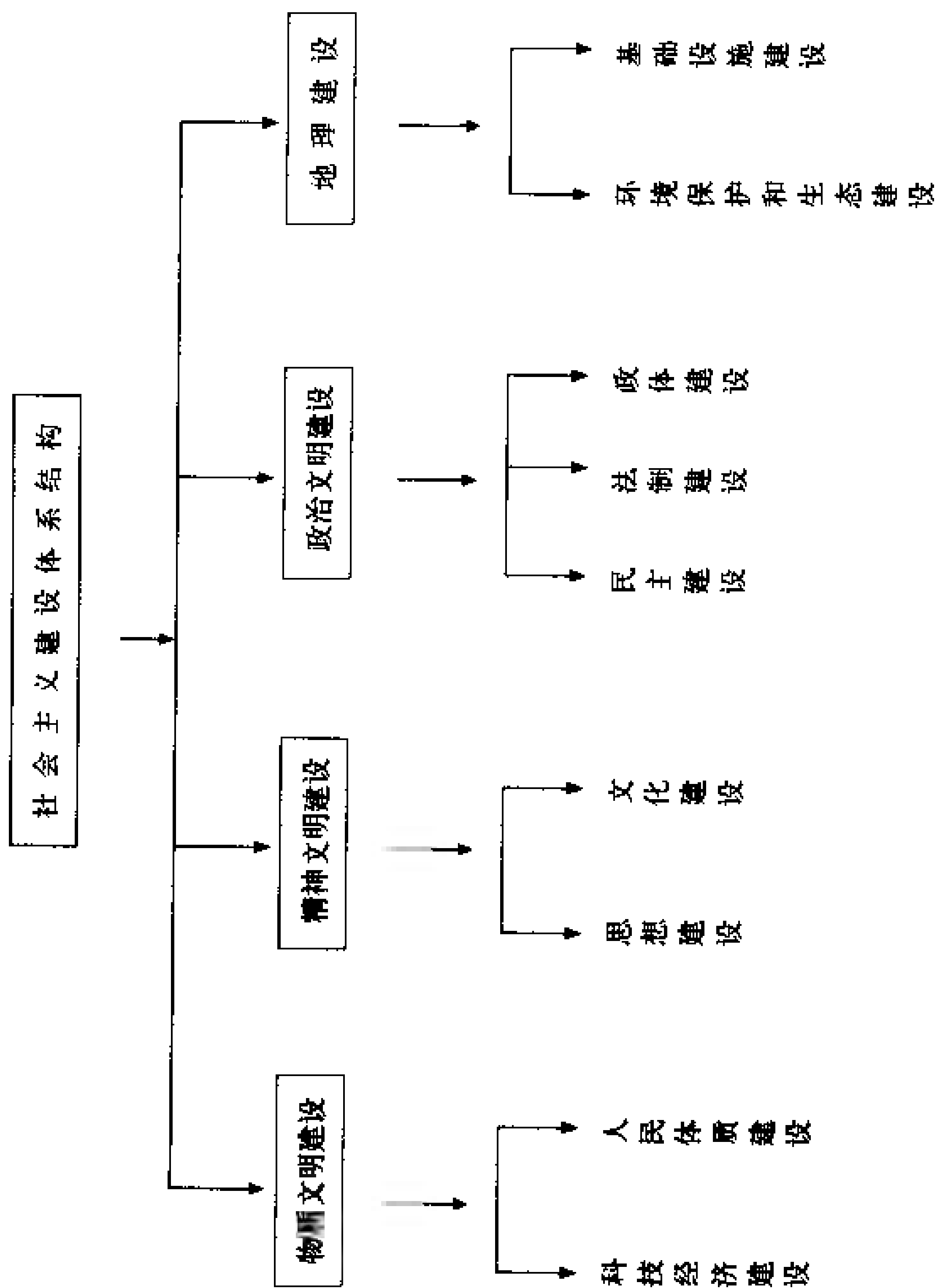

社会主义建设体系结构
地理建设
政治文明建设
精神文明建设
物质文明建设
基础设施建设
环境保护和生态建设
政体建设
法制建设
民主建设
文化建设
思想建设
人民体质建设
科技经济建设

图　0—4

或九个方面建设以及它们之间不能协调发展的体制机制和组织管理，从这个角度来看，改革开放确实是强国之路。

这样看来，实践向我们提出了一个十分重要的问题，就是如何才能使四大领域或九个方面建设协调发展。这里既需要科学理论又需要实践技术。当然，首先是马克思主义哲学的指导作用，马克思主义是指导我们思想的理论基础。此外，还需要现代科学技术体系所提供的全部知识，即使这样，我们还要处理和解决至今尚未认识的新问题。我们要在马克思主义哲学指导下，综合运用现代科学技术体系全部科学知识以及有用的经验知识，去进行社会主义物质文明建设、精神文明建设、政治文明建设和地理建设，这就是科教兴国赋予我们的重大使命。

从实践角度来看，四大领域或九个方面的建设，是变革和建设社会与环境并使它们之间协调发展的伟大实践。这是一项极为复杂的大规模工程，既然是工程，是改造世界，这就不仅需要理论，还需要能操作的技术。钱学森指出："我们可以把完成上述组织管理社会主义建设的技术叫做社会工程，它是系统工程范围的技术，但范围和复杂程度是一般系统工程所没有的，这不只是大系统而是巨系统，是包括整个社会的系统。"[8] 这里所说的社会工程就是社会系统工程。社会系统工程是组织管理社会系统，以使四大领域协调发展并取得长期和最好的整体效益的工程技术，这是一项复杂的社会技术。

为一般系统工程提供理论方法的有运筹学、控制论、信息论等。但对社会系统工程来说，这些理论方法就显得不够用了。需要有新的方法和方法论。这也是钱老20世纪70年代末推广系统工程应用时，一直在探索和研究的问题，直到80年代末，提出"从定性到定量综合集成方法"以及"从定性到定量综合集成研讨厅体

系”，才使社会系统工程有了可靠的科学基础。也使系统工程的发展进入复杂系统工程新阶段。

3. 综合集成方法论及其意义

20世纪80年代末到90年代初，钱学森先后提出“从定性到定量综合集成方法”以及它的进一步发展“从定性到定量综合集成研讨厅体系”。这是钱学森系统思维和系统思想在方法论上的体现。

现代科学技术的发展呈现出既高度分化又高度综合的两种明显趋势。一方面是学科不断分化、越分越细，新学科、新领域不断产生；另一方面是不同学科、不同领域之间相互交叉、综合与融合，向着综合化和整体化的方向发展。这两种趋势相辅相成，互相促进，丰富和发展着现代科学技术体系。系统科学就是这后一发展趋势中的一个典型科学技术部门。还有如管理科学、软科学、非线性科学以及复杂性科学等等，都是这一发展趋势中相继涌现出来的新学科。

从实践角度来看，现代社会实践越来越复杂，综合性越来越强，通常不是一门学科甚至也不是一个科学技术部门的知识所能解决的，需要综合运用人类知识体系所提供的知识来指导实践。如当今世界各国都高度重视的可持续发展问题，其实质是解决人与自然之间的协调发展。实现可持续发展的途径、战略、规划、政策和措施等的决策和实施问题，仅靠自然科学技术是不够的，因为它还涉及到社会，但仅靠社会科学技术也解决不了。需要把自然科学和社会科学结合起来，才有可能解决这些问题。还有像我国改革开放和社会主义现代化建设这样伟大的社会实践，就有许多从未遇到过和认识的新问题，这样的实践就更为困难和复杂。

从上述简短的讨论中可以看出，无论是发展理论还是解决复杂实践问题，我们都面临着不同层次的知识（经验的、科学的以至哲学的），不同领域不同学科的知识（自然科学、社会科学、数学科学……等等），不同类型的知识（定性、定量的），如何把这些知识、智慧综合集成起来，涌现出新知识和智慧，也就是如何综合运用人类知识体系这个宝贵的知识资源，以提高我们认识世界的水平和增强我们改造世界的能力，这就有个方法和方法论的问题。

方法（Method）和方法论（Methodology）是两个不同层次的问题。方法论是关于研究事物所遵循的途径和路线，在方法论指导下是具体方法问题，而方法也不止一种，可能有多种方法。如果方法论不对，具体方法再好，也解决不了问题。从近代科学到现代科学，还原论方法发挥了重要作用，特别在自然科学领域取得了巨大成功。它所遵循的途径是把事物分解成局部或低层次事物来研究，以为低层次或局部问题弄清楚了，高层次或整体问题也就自然清楚了。如果低层次或局部问题仍弄不清楚，还可以继续分解下去，直到把整个问题弄清楚了为止。“我们有采取这种还原论的最好理由：它有效。自从西方科学的黎明以来它就是获得有用信息的关键，而且已经通过科学家及其他深深地植入我们的文化之中。”[13]但是，现代科学技术发展向这种方法论提出了挑战，许多事实使科学家们认识到“还原论的不足之处正日益明显。”[13]我们正面临着这种方法论处理不了的问题。圣菲研究所（Santa Fe Institute，SFI）的复杂性研究或复杂性科学，就是在这种背景下提出来的。如图二所表明的，宏观层次以下探索的就是被盖尔曼（Gell-mann）称作的简单性问题，这是物理学家、化学家们的世界。在宏观层次上，就是他们所说的复杂性问题，特别到了人类社会这部分，不仅有自然属性，还有社会属性和精神属性，一个比一个复杂，

高层次是低层次演化过来的,但又具有低层次所没有的性质。SFI把这种现象称作涌现(Emergence)。其实,意识到还原论方法不足的科学家,更早的是冯·贝塔朗菲(L. Von. Bertalanfy),他本人是位理论生物学家,当生物学研究已深入到分子水平产生分子生物学时,用他本人的话来说,他对生物整体的认识反而模糊了。这使他转到整体论和整体论方法,并提出一般系统论。但限于当时的科学技术水平,他没能解决整体论的具体方法问题,还是定性描述和概念阐发居多,泛泛而论,解决不了问题。

在科学发展史上,一切以定量研究为主要方法的科学被称为"精密科学",如自然科学、数学科学等;而以思辨方法和定性描述为主的科学,称为"描述科学",如社会科学等。复杂性研究或复杂性科学要走"精密科学"之路,使它不同于"描述科学";另一方面,基于还原论的定量方法又有局限性,从这个角度来看,这确实是个科学新领域。

SFI研究复杂性问题时,以计算机为主的现代信息技术已有了巨大发展。他们应用计算机技术研究复杂性问题,进行了许多开创性工作,并取得了一些进展,如遗传算法、进化算法,以Agent为基础的动态经济系统建模、用数字技术描述的人工生命系统,Swarm平台,基于规则的计算机建模等,这些对复杂系统的描述,比起数学模型更广泛和逼真。在数学建模、计算机建模以及把两者结合起来的系统建模上,SFI的研究工作确实有了新的进展,值得我们重视。

但是,1995年《科学美国人》杂志上有一篇文章"复杂性研究的发展趋势——从复杂性到困惑"[14],作者霍根(J. Horgan)对SFI工作进行了综述和评价,指出他们的复杂性研究似乎陷入了困境,不知如何进行下去。这究竟是什么原因,值得我们思考。

既然还原论方法处理不了复杂性问题，那么研究复杂性问题的方法论到底是什么？SFI 主要依靠计算机技术，那么，仅靠计算机技术是否就能解决复杂性问题？这就涉及到今天的计算机能作什么，不能作什么。从思维科学角度来看，人脑和计算机都能有效处理信息，但两者有极大差别。从信息处理角度来看，人脑思维一种是逻辑思维，它是定量、微观处理信息方式；另一种是形象思维，它是定性、宏观处理信息方式，而人的创造性主要来自创造思维，创造思维是逻辑思维和形象思维的结合，也就是定性和定量相结合、宏观与微观相结合，这是人脑创造性的源泉。今天的计算机在逻辑思维方面，确实能作很多事情，甚至比人脑做得还好，善于信息的精确处理，这已有很多科学成就证明了这一点，如著名数字家吴文俊先生的定理机器证明。但在形象思维方面，今天的计算机还不能给我们以任何帮助，至于创造思维只能依靠人脑了。从这个角度来看，期望完全靠机器来解决复杂性问题，至少目前是行不通的，如果完全依靠机器能解决的问题，那肯定不是复杂性问题。从这里可以看出，SFI 困惑是在方法论上，而不是在具体方法上，在具体方法上，他们还有很多创新。

钱学森是一位高度重视科学方法和方法论研究的科学家。他在马克思主义实践论和认识论指导下，从实际出发，运用系统科学思想进行方法论研究。20 世纪 70 年代末，在把系统工程推广应用到更复杂的系统中时，如社会系统工程，他就意识到必须发展系统工程方法。80 年代初，他曾提出，处理复杂行为系统的定量方法学，是科学理论、经验和专家判断力的结合。这种定量方法学是半经验半理论的。从这里可以看出，钱学森研究复杂性问题，一开始就是和系统紧密结合的，而且更多的是从方法论层次来考虑和解决问题，这和 SFI 更多地从方法层次研究复杂性问题，具有很大

的不同。

后来在他指导下的"系统学讨论班"上，又继续方法论的探索，一方面关注面向实际研究工作的进展，如在社会系统、地理系统、军事系统中的研究等，同时在理论上进行提炼和概括。到了80年代末，钱学森提出了开放的复杂巨系统概念以及研究这类系统的方法论[15]，这就是"从定性到定量综合集成方法"以及它的进一步发展"从定性到定量综合集成研讨厅体系"。生物体系统、人体系统、人脑系统、地理系统、社会系统、星系系统等都是开放的复杂巨系统，分布在图二中宏观层次以及宏观层次以上的范围。钱学森明确指出："凡现在不能用还原论方法处理的或不宜用还原论方法处理的问题，而要用或宜用新的科学方法处理的问题，都是复杂性问题，复杂巨系统就是这类问题"。[16]并进一步指出，SFI的复杂性研究实际上是复杂巨系统的动力学问题。这就非常明确地指明了复杂性或复杂性科学与系统科学的关系。

任何一项研究工作，通常是科学理论、经验知识和专家判断力(专家的知识、智慧和创造力)相结合，形成和提出经验性假设(如判断、猜想、方案、思路等)。在自然科学和数学科学中，这类经验性假设一般是用严密逻辑推理和各种实验手段来证明其正确与否，这一过程体现了从定性到定量的特点。但当把它所用的各种方法用于处理复杂巨系统问题时，就显得力所不及了。如社会系统、地理系统中的问题。而我们又不能对经验性假设只停留在思辨和定性描述上。那么出路在哪里呢？现代计算机技术以及基于计算机的信息技术的发展，为我们开辟了新的途径，这就是人-机结合、人-网结合的方式，机器能作的尽量由机器去完成，极大地扩展人脑逻辑思维处理信息的能力，也包括各种数学方法的应用。通过人、机结合以人为主，实现信息与知识的综合集成，这里包括

了不同领域的科学知识和经验知识，定性知识和定量知识，理性知识和感性知识，通过人机交互、反复对比、逐次逼近，实现从定性到定量的认识，从而对经验性假设的正确与否作出明确结论，这个结论已不再是经验性的了，而是现阶段对客观事物认识的科学结论。

这个方法体现了“精密科学”从定性判断到精密论证的特点，从思维科学角度来看，也体现了以形象思维为主的经验判断到以逻辑思维为主的精密论证过程。

这个方法的实质是把专家体系、数据和信息体系以及计算机体系有机结合起来，构成一个高度智能化的人、机结合系统，这个系统本身也是个开放的复杂巨系统。这个方法的成功应用，就在于发挥这个系统的综合优势、整体优势和智能优势，它比单纯靠人（专家体系）或机器都有更强的优势。它能把人的思维、思维的成果、人的经验、知识、智慧以及各种情报、资料和信息统统集成起来，从多方面定性认识上升到定量认识，所以，这个方法是走精密科学之路的方法论。

在应用这个方法时，也需要系统分解，在分解后研究的基础上，再综合集成到整体，实现 $1+1>2$ 的涌现，达到从整体上研究和解决问题的目的。综合集成方法吸收了还原论方法和整体论方法的长处，同时也弥补了各自的局限性，它是还原论方法和整体论方法的结合，既超越了还原论，又发展了整体论。还原论方法是自上而下，综合集成方法论既自上而下，又自下而上，而整体论既不下也不上。形象地说，可表示如下：

整体论方法：　$1+0=1$

还原论方法：　$1+1\leqslant 2$

综合集成方法：$1+1>2$

概括起来说，综合集成方法作为科学方法论，其理论基础是思

维科学，方法基础是系统科学与数学，技术基础是以计算机为主的信息技术，哲学基础是马克思主义实践论和认识论[17]。它具有“分析与综合的统一，微观与宏观的统一，定性与定量的统一，整体论与还原论的统一，整体论与重点论的统一。”[18]

人类已进入信息时代，在信息社会中，信息是人类一切活动的基础。但是有了信息未必就有知识，而有了知识也未必就有智慧，信息、知识、智慧这是三个不同层次上的问题，信息的综合集成可以获得知识。信息和知识的综合集成可以获得智慧。如果说过去人们获得知识和智慧主要是靠人脑来完成的话，那么今天，可以通过人-机结合、人-网结合的方式来进行（图0—5）。

综合集成方法论的实践形式，如图五所示，它由三个部分构成：以计算机为核心的各种信息技术的集成与融合所构成的机器体系，以及专家体系和知识体系。专家体系和机器体系是知识体系的载体。这三个部分的有机结合构成了高度智能化的人-机结合、人-网结合体系，它不仅具有信息、知识的采集、存储、传递、调用、分析与综合集成的功能，更重要的是具有产生新知识的功能，是知识的生产系统。既可用来研究理论问题，也可用来解决实践问题。不管哪种应用，它都是从整体上研究和解决问题的方法。按照我国传统说法，把一个复杂事物的各个方面综合起来，达到对整体的认识，称之为集大成，集大成得智慧，所以钱老形象地把这套方法称之为“大成智慧工程”（Meta Synthetic Engineering）[16]。把运用这个方法的集体称为总体设计部。

人类知识体系是宝贵的知识资源，利用这些资源再加上大成智慧工程就形成了人、机结合的知识生产力，这也是当前这场信息革命所开创的人类历史上新的知识增长方式。增强了人们认识世界和改造世界的能力。综合集成方法论的提出，是钱老的历史性

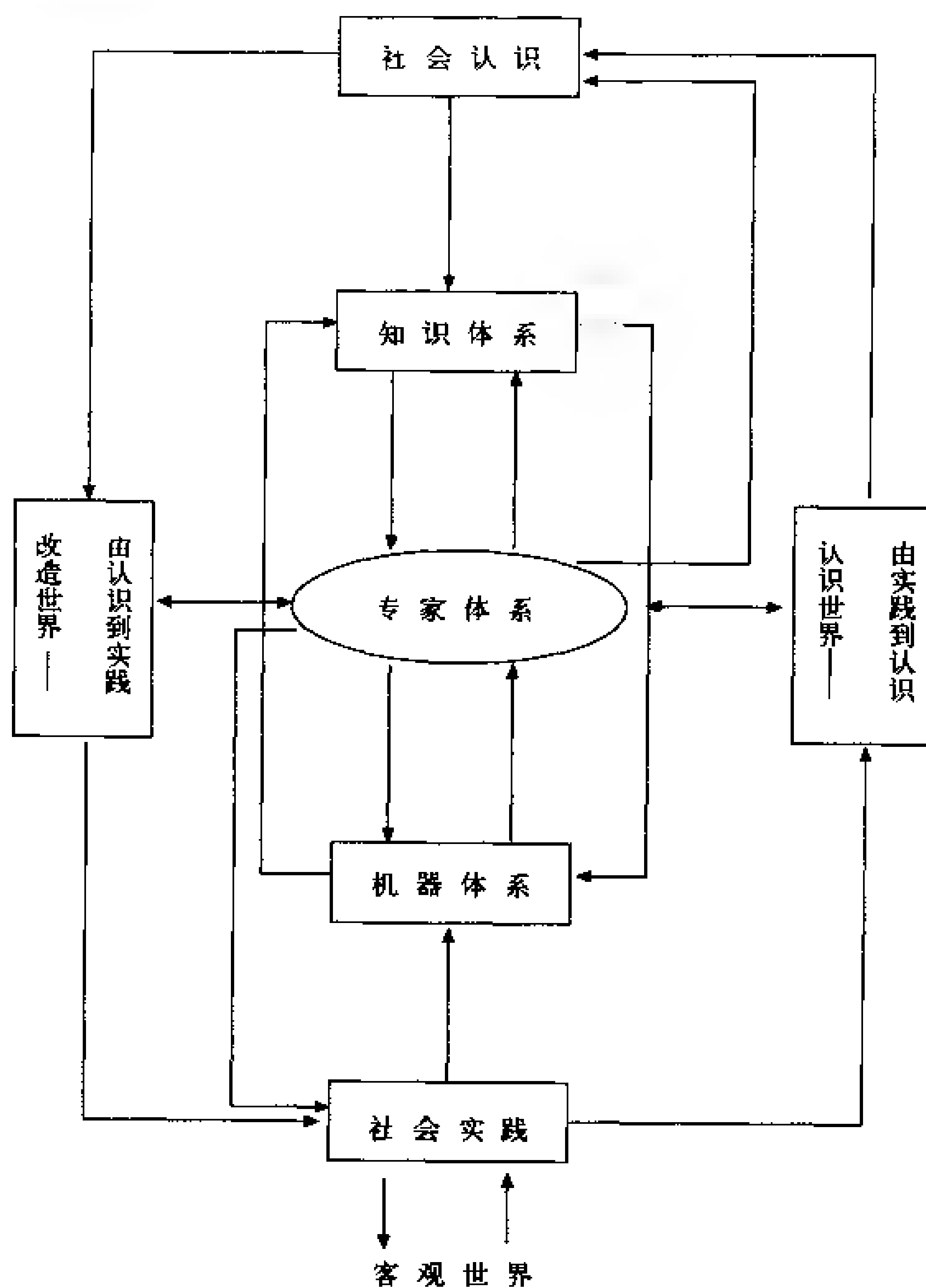


图 0—5

贡献,其意义和影响将是深远的。

通过上述三个方面的讨论可以看出,在人类知识体系中,对不同科学技术部门的知识,从前科学、科学直到哲学三个层次的知识,通过综合集成方法可以获得新知识和智慧,既丰富了人类知识体系,又增强了人类改造客观世界的能力。特别是对于社会系统工程,它提供了有效的科学方法。这套方法也可用于复杂性研究,与SFI相比,他们只是在方法上有创新,但在方法论上并没有创新,这也正是他们困惑的原因所在。而钱老的综合集成方法论是方法论上的创新,这也是钱老比他们高明的地方。

钱学森是国内外著名的科学家,他的科学经历和取得的成就表明,他的知识和研究工作,不仅有深度,而且还有广度。钱老的博学多才是大家都知道的。而他对科学技术的远见卓识还表明,不仅有深度、广度,还有高度,而这个高度就不仅仅是科学知识问题,更是智慧层次上的问题。形象地说,如果仅有深度或仅有广度看作一维,既有深度又有广度看作二维,有深度、有广度还有高度看作三维的话,那么,钱学森是一位三维科学家,这也就是我们通常所说的科学帅才或科学大师。

参考文献

1　涂元季:《钱学森》,宋健主编《"两弹一星"元勋传》,清华大学出版社,2001,第226页。

2　王寿云等:《钱学森》,《科学家传记大辞典》编辑组《中国现代科学家传记》,科学出版社,1991,第801、979页。

3　钱学森:《感谢、怀念和心愿》,《人民日报》,1991.10.17,1版。

4　钱学森:《基础科学研究应该接受马克思主义哲学的指导》,《哲学研究》,1989(1),第3—8页。

5 钱学森:《现代科学技术的特点和体系结构》,《论系统工程》(增订本),湖南科学技术出版社,1988,第528、520页。

6 钱学森:《我们要用现代科学技术建设有中国特色的社会主义》,《九十年代科技发展与中国现代化系列讲座》,湖南科学技术出版社,1991,第5~23页。

7 钱学森:《从社会科学到社会技术》,《论系统工程》,湖南科学技术出版社,1988,第160~161页。

8 钱学森、乌家培:《组织管理社会主义建设的技术——社会工程》,《论系统工程》,湖南科学技术出版社,1988,第32页。

9 钱学森:《新技术革命与系统工程——从系统科学看我国今后60年的社会革命》,《论系统工程》,湖南科学技术出版社,1988,第411~432页。

10 钱学森:《研究社会主义建设的大战略,创建社会主义现代化建设的科学》,《论系统工程》,湖南科学技术出版社,1988,第471~512页。

11 钱学森:《社会主义文明的协调发展需要社会主义政治文明建设》,《中共中央党校报告选》,1989,第1~11页。

12 钱学森、涂元季:《我国社会主义建设的系统结构》,《人民论坛月刊》,1992(6),第14~15页。

13 Gallagher.R, Appenzeller T:《超越还原论》,《复杂性研究论文集》,戴汝为主编,1999,第1页。

14 Horgan J:《复杂性研究的发展趋势——从复杂到困惑》,《科学美国人》,科学杂志社,1995,第42~47页。

15 钱学森、于景元、戴汝为:《一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论》,《自然杂志》,13(1),1990,第3~10页。

16 王寿云等:《开放的复杂巨系统》,浙江科学技术出版社,1996,第54、284页。

17 于景元、龚志刚:《一个正在发展中的新领域——开放的复杂巨系统》,《控制理论与应用》,第16卷,中文增刊,1999,第37~43页。

18 孙凯飞:《序在系统论中的含义》,《哲学研究》,1994(4),第38~43页。

钱学森的科学观

著名科学家钱学森不仅在工程技术、技术科学、基础科学方面作出了一系列卓越的贡献，而且作为一位科学战略家，在科学观方面也提出了丰富而深刻的理论见解。研究钱学森的科学观，对发展现代科学技术、推进马克思主义哲学、实施科教兴国战略、提高整个中华民族的综合素质，不仅具有深远的理论意义，而且具有重大的实践价值。

1. 科学是认识世界的学问

钱学森的科学观首先考察了科学的内涵，即科学的本质。在这一方面，他提出了一系列重要而深刻的理论观点。择其要者，大致有如下几点。

(一)科学的内涵

什么是科学？对此，古今中外是见仁见智，众说纷纭。有的主张，科学是“由人类的想象力构想出的广阔领域的系统性概念化结构……”[1]；有的认为，“科学是精神文化最重要的成分，是人类认识的高级形式，是不断发展的各种知识体系……”[2]；也有的认为，所谓科学主要是指自然科学，至于社会科学的许多理论，包括哲学在内，则很难说够得上是一种科学。

那么,究竟什么是科学呢?钱学森认为科学是认识世界的学问,即人对客观世界的理性认识。为什么?因为科学是探求未知领域的学问,是对世界的本质与规律的理性把握。因此,应当从人类知识体系的动态网络系统和马克思主义哲学的理论高度去考察什么是科学的问题。据此,钱学森指出:"马克思主义哲学认为,客观世界是不以人的意志为转移而存在的,人首先要认识客观世界,才能进而改造客观世界。从这一基本观点出发,认识客观世界的学问就是科学,包括自然科学、社会科学等等。"[3] 从这一论述中可以看出,钱学森在考察科学的内涵时,有两个显著的特点:一是从科学与客观世界、实践、马克思主义哲学的辩证关系来揭示科学的本质。二是从思维方式来说,钱学森坚持辩证的思维,既把握概念与客观世界的对立统一,又了解概念与概念网络之间的对立统一,从认识之网的网上纽结处界定科学这一范畴,从而揭示科学的内涵。

(二)科学划分的根据

要考察科学划分的根据,就应当从矛盾特殊性的角度去加以研究。毛泽东指出:"科学研究的区分,就是根据科学对象所具有的特殊的矛盾性。"[4] 又因为科学对象的本质与规律是复杂的动态网络系统,具有不同广度、不同深度和复杂性意义上的不同的矛盾特殊性,因而科学研究应该去探索本质与规律的复杂的动态网络系统中不同的矛盾特殊性。根据这样的科学思路,钱学森不仅提出了宇宙演化过程的五种矛盾特殊性及其辩证统一的矛盾特殊新质,即胀观、宇观、宏观、微观、渺观及其辩证统一的系统新质,而且构建了现代科学技术体系的复杂的动态网络系统。

(三)科学应当探索深层次本质与规律的问题

在考察什么是科学的问题时,应当考虑到由于科学的本质是对世界的本质与规律的理性把握,而世界的本质与规律又是一种复杂的动态网络系统,同时科学研究领域的区分,又是根据于矛盾的特殊性的,因此,在深入探索现代科学的前沿领域时,必须把握新发现的本质与规律及其矛盾特殊性。比如,应当注意正确处理确定性与随机性的关系问题。国外的一些科学家鉴于现代科学的发展和经典科学的局限性,提出了确定性的终结的观点。这种观点当然有其进步之处,因为它认识到线性决定论的局限,这种线性决定论不能处理现代科学前沿水平深层的问题。但是,这种观点片面地否定确定性,而未能把确定性与随机性辩证地统一起来加以处置。钱学森则坚持认识的辩证法,比较好地处理了这个科学问题。他认为,一个层次的非决定性(随机性),可能存在着高一层次或深一层次的确定性。他曾举例说:"微观层次的量子力学所表现出来的非决定性,实际是决定性的渺观层次中十维时空运动的混沌所形成的。本来是决定性的运动,但看来是非决定性的运动。这是因为超弦的渺观世界是十维时空,有六维在微观世界看不见,不掌握,因而有六个因素没有考虑,漏掉了,可以说是因为微观世界科学家的'无知',造成看来是决定性的客观世界,变得好像是非决定性的了。"[5] 钱学森关于决定性与非决定性关系问题的见解,尽管在科学界和哲学界褒贬不一,但笔者认为,这一见解既体现了客观世界的辩证性,也揭示了科学探索的复杂性,因而是一种很有意义的见解。当然,这一见解尚需科学发现的事实来证明,然而这毕竟是一种前瞻性的探索。

2. 科学是复杂的动态网络系统

指明科学是复杂的动态网络系统，乃是钱学森的科学观的一个重大理论贡献。对此，笔者拟稍作展开式的考察。

（一）科学是系统这一思想的发展

科学是系统，这一思想并不始自钱学森，这一思想有一个漫长的发展过程。

仅就近代以来考察，黑格尔就曾提出过科学是系统的思想。马克思认为，自然科学与社会科学必将交叉、结合，形成统一的整体科学体系。因为"历史本身是**自然史**的即自然界成为人这一过程的一个**现实部分**。自然科学往后将包括关于人的科学，正像关于人的科学包括自然科学一样：这将是一门科学。"[6] 恩格斯认为，从19世纪中叶以来，由于科学发展的伟大进步，自然科学已经从经验自然科学上升到理论自然科学的新阶段。在这个新阶段里，更应当坚持主观辩证法是客观辩证法辩证反映的观点。因此，一方面，应当"意识到自然过程的辩证性质"[7]，"自然科学的系统化，除了在现象本身的联系中是找不出来的"[7]，从而"促使理论自然科学发生革命"。[7] 恩格斯总结了科学发展的历史经验，研究了当时科学发展的现实状况，深刻地预见到科学发展将通过种种"接触点"、桥梁和中介而走向整体化、系统化。他指出："在分子科学和原子科学的接触点上，双方都宣称与己无关，但是恰恰就在这一点上可望取得最大的成果"[7]。正是由于这些"接触点"的中介，沟通了学科间的彼此联系，使各门学科出现系统化、整体化的崭新局面。而且，恩格斯对当时科学发展的现状，特别是对具有里程碑意

义的科学成果(如能量守恒与转化定律的建立、细胞学说的诞生和进化论的创立)作深层的研究,指出:“我们就能够依靠经验自然科学本身所提供的事实,以近乎系统的形式描绘出一幅自然界联系的清晰图画。”[8] 列宁在1904年根据科学发展综合交叉的总体趋势,预言20世纪更将会出现“从自然科学奔向社会科学的强大潮流。”[9] 而且,列宁把科学的发展放在真理是过程的认识辩证法的总的过程中加以考察,指出“科学是圆圈的圆圈”[10]。

(二)科学是复杂的动态网络系统

钱学森认为科学是复杂的动态网络系统。这既是对科学史和哲学史上关于科学是系统的思想的直接继承,也是对现代科学技术发展现实的理论总结,这是一种综合性的理论创造。

钱学森提出的现代科学技术体系,即现代科学技术从横向上分为十大部门,每一大部门从纵向上又包括应用技术、技术科学、基础科学三个层次。十大部门通过十座桥梁与马克思主义哲学相连接。同时,在前科学领域,既包括实践经验知识库和哲学思维,也包括人们的不成文的实践感受。这些领域的知识在一定的条件下,也都可以进入科学技术领域,而与现代科学技术一起成为丰富、深化、发展马克思主义哲学的知识原料和思想素材。

而且,钱学森找到了构建现代科学技术体系的不同层次的学科,使科学的动态网络系统得以建立起来。例如关于技术科学,钱学森指出:“技术科学。它是从自然科学和工程技术的互相结合所产生出来的,是为工程技术服务的一门学问。”[11] 同时,对“技术科学研究的成果再加以分析,再加以提高,就有可能成为自然科学的一部分。”[11] 钱学森正是由于找到了不同层次的中介环节,才构成了现代科学技术体系的动态网络系统。

不仅如此，钱学森还把科学研究过程当作一种社会网络系统来加以观察和处置。他认为考察科学研究过程，从微观即从一个单位内部来说，不仅有科学技术的研究和研制工作，而且还要有科学技术的组织管理工作。这种组织管理工作又分为科学技术的参谋工作和科学技术的后勤工作。前者的内容包括："一方面是根据我们具体情况，培养科学技术干部要把专业分得细；另一方面，国家的科学技术任务一般又带综合性，要多方面、多专业的工作者共同来完成，做到互相配合，步调一致。"[12]后者就是要保证科学技术研究和研制工作得以顺利进行的各种支持、保障工作。"上述参谋工作和这里所说的后勤工作，可以统称为科学技术研究和研制工作中的组织管理工作。"[12]从宏观来说，钱学森认为："全国范围的科学技术组织管理问题，那是社会主义建设组织与计划的一部分"[12]，那更是一种复杂的、动态的社会网络系统了。

钱学森的现代科学技术体系和上述种种科学是网络系统的思想，是对列宁关于科学与哲学辩证关系思想的丰富、深化和发展。列宁曾经指出："哲学的历史"、"简单地说，就是整个认识的历史"[10]。列宁列举了希腊哲学已经涉及到的各个知识部门，诸如"各门科学的历史、儿童智力发展的历史、动物智力发展的历史、语言的历史，注意：+心理学+感觉器官的生理学"[10]。接着，列宁指出："这些就是认识论和辩证法应当从中形成的知识领域。"[10]而且，应当注意吸收动态发展的"全部知识领域"[10]的成果。列宁还认为，从上述科学与哲学辩证互动的过程和关系来看，"要继承黑格尔和马克思的事业，就应当辩证地探讨人类思想、科学和技术的历史。"[10]因此，要发展马克思主义哲学，就应当总结和吸收"自然科学史和哲学史+技术史的精华。"[10]钱学森的上述思想，正体现了对科学史、技术史和哲学史的辩证探讨以及对这些领域的思想

精华的综合吸收。

钱学森的现代科学技术体系是一个复杂的动态发展的网络系统。1991年,钱学森指出:"这个科学技术体系是个开放的系统,不断演化的,随着社会的进步,内容会发展变化,会有新的大部门出现。所以构筑科学技术体系是长期任务。"[13]后来,他提出了建筑科学与建筑哲学,就是他这一科学思想的重要发展。可见,在科学技术发展的问题上,钱学森坚持了认识辩证法的思想,主张走开放式的发展道路。这同那种囿于一时一地的见解而陷入凝固化、静止化的形而上学的科学观适成鲜明的对照。

(三)开放的复杂巨系统理论与方法的哲学思考

钱学森的科学观中一个杰出的贡献是开放的复杂巨系统的理论和方法。这种理论和方法本身也作为科学是复杂的动态网络系统的重要内容,但因其是钱学森的科学观的一个重大贡献,所以,我们把它单列出来加以述评。

对开放的复杂巨系统的理论内涵和主要内容,由于其他专家在书中已有论述,笔者在这里只好从略。现在,仅就开放的复杂巨系统的理论和方法的理论贡献,作一些简要的评析。

1. 人类智慧的新成果

科学史和认识史表明,人们从不同层次、不同视角对客观世界进行认识,这些认识成果都是人类智慧的结晶。在科学史和认识史上,如何把统一的客观物质世界的内部联系揭示出来,从认识成果中以综合交叉的形式反映出来,这是人类智慧所要研究的新课题。

对于这个新课题,马克思主义哲学作出了原则的、方向性的指引。

钱学森根据马克思主义哲学的基本原理，总结了现代科学技术的综合成果，特别是交叉科学的最新进展，提出了开放的复杂巨系统理论，这是人类智慧的新成果。这主要表现在：

首先，贯通了自然科学、社会科学与思维科学。开放的复杂巨系统理论告诉人们，自然系统、社会系统以至种种复合系统和思维系统等等，都是开放的复杂巨系统。这就从客观物质世界和人们的精神世界的发展过程中，揭示出一类新的具有共同规律的普遍现象：开放的复杂巨系统。研究这类开放的复杂巨系统，需要自然科学、社会科学与思维科学在更大范围、更深层次、更复杂关系上的交叉、渗透和辩证综合，并且应当不断地创造出适合于研究这类系统的理论和方法。这样看来，钱学森所提出的开放的复杂巨系统理论，就是加进人类智慧宝库中一颗璀璨的思想明珠。

其次，抓住了前沿综合的认识难点。开放的复杂巨系统的核心内容主要有四个方面，即人体系统、人脑系统、社会系统和地理系统。人体系统、人脑系统的研究，体现了科学史和认识史上的综合前沿。而且，这种研究又是在马克思主义哲学的指导下，通过自然科学与社会科学的综合交叉进行的，而不是从生物学意义上所作的纯自然科学的研究。这就在新境界、新水平上体现了对科学史和认识史上的前沿重点——认识主体自身的研究。再从对社会系统的研究来看，开放的复杂巨系统理论认为，社会系统是一种特殊复杂的复杂巨系统。这就为科学地研究社会系统作了一个良好的开端。它把社会系统的方方面面展现出来，把社会系统的复杂作用揭示出来，引导人们研究社会系统的情形、特点、关系、本质、规律与功能。这既是对马克思主义哲学关于社会系统理论的一种具体展开和深入前进，也是对认识史上种种社会系统理论的一种理论扬弃和辩证升华。开放的复杂巨系统理论对地理系统的研

究，有两个重大的突破：一是从整体上研究地理系统；二是从地理系统与社会系统的交互作用过程来研究地理系统

这样看来，开放的复杂巨系统理论的核心内容抓住了人类认识的综合前沿的理论难点，因而它是人类智慧的新成果。

2．物质统一性的新揭示

恩格斯认为："世界的真正的统一性在于它的物质性，而这种物质性不是魔术师的三两句话所能证明的，而是由哲学和自然科学的长期的和持续的发展所证明的。"[14]他还指出："我们所接触到的整个自然界构成一个体系。即各种物体相联系的总体"。[8]"宇宙是作为无限的进步过程而存在着"[8]的。开放的复杂巨系统理论对客观物质世界统一性的揭示，主要有三个方面的理论贡献。

首先，五"观"理论揭示了客观物质世界的新的统一性。由前述钱学森的五"观"理论可知，这种理论研究了客观物质世界统一的无限丰富的运动过程，并揭示了客观物质世界统一性的新内容。

其次，四"统"理论从复合系统、复杂系统方面揭示了客观物质世界的新的统一性。如前所述，开放的复杂巨系统理论所要研究的四个重点系统以及它们的综合成果，都是对客观物质世界统一性的新揭示，体现着客观物质世界的普遍联系。

再次，从规律性方面揭示了客观物质世界的深层的统一性。这又有三个方面的理论贡献。

①网络性。关于客观物质世界规律的网络性，列宁在《哲学笔记》中有多处论述，毛泽东在《中国革命战争的战略问题》一文中也有精彩的阐明。钱学森的开放的复杂巨系统的理论，既揭示了规律在横向结构上的多层性，又揭示了规律在纵向过程中的动态性，这样就体现了规律的复杂性与网络性，从而丰富、深化了马克思主义哲学关于客观规律的思想，又高于前此的和同时代的科学家中

关于规律性的若干理论见解。

②共同性。开放的复杂巨系统的理论揭示了不同领域的某些共同规律，而且这些共同规律又有不同的层次。这在人类认识史上既是对马克思主义哲学关于客观规律性思想的丰富和深化，又是对现代科学前沿成果的综合和升华。

③决定性。钱学森认为，在一种层次上看来是非决定性的现象，但在更高层次上或更深层次上看来，则是决定性的。这个观点很可能在规律的网络性方面揭示了不同层次的规律交互作用过程中的一种新规律，因而这是一个值得重视的理论见解。

3. 方法论上的新桥梁

列宁指出："仅仅'相互作用'＝空洞无物、需要有中介(联系)"[10]。他还认为："要真正地认识事物，就必须把握住、研究清楚它的一切方面、一切联系和'中介'。"[15]钱学森提出的"从定性到定量综合集成方法"、"从定性到定量综合集成研讨厅体系"以及总体设计部方法，在方法论体系方面做出了重大的理论贡献。

首先，起了中介的作用。钱学森提出的这些方法，在马克思主义哲学的唯物辩证法与具体科学的方法之间，构筑了共同的、综合的、一般的科学方法。这些方法起着双向沟通的中介作用，架起了由此达彼的方法桥梁。这样，就填补了方法体系的若干空白，形成了比较完整的方法论的动态网络系统。

其次，找到了实现认识圆圈的认识方法。列宁指出："认识是思维对客体的永远的、无止境的接近。"[10]在这种认识无止境的接近客体的过程中，有没有一种逼近度呢？列宁认为是有的，这就是科学上和哲学上的圆圈或螺旋式的曲线。钱学森提出的上述一系列方法，就给出了实现这种认识上的圆圈的一种辩证而又科学的认识方法。应用这种认识方法，就能通过实现认识上的一串串圆

圈而形成螺旋式的曲线。

再次,给出了实现认识辩证法的一种运行机制的组织形式 钱学森的上述方法,在运行机制上,采取人机结合、人网结合、以人为主的技术路线,把认识主体、认识方法与认识手段组成认识的动态网络系统,注意发挥网络系统的综合效益和整体优势,特别是要充分发挥人的主观能动性。不仅如此,钱学森的上述方法,还给出了"厅"的组织形式,强调发挥专家群体的作用,特别是要充分发挥抓总单位、抓总专家的作用。

第四,体现了理论与实践结合的辩证性。列宁认为"必须把认识和实践结合起来。"[10]他还指出:具体地分析具体问题,这是马克思主义的活的灵魂。毛泽东主张,应当实现主观和客观、理论和实践、知和行的具体的历史的统一。钱学森的上述方法,体现了具体地分析具体问题和理论与实践相结合的辩证法的基本要求。他主张要研究开放的复杂巨系统的那四个领域、九个方面的战略问题,而且要研究整体的战略,要研究这些方面错综复杂的相互关系,要从整体上考虑并解决问题。这不仅体现了理论与实践相结合的辩证方法,而且体现了钱学森把爱国主义、社会主义的政治觉悟与科学精神、哲学思考的有机结合,展示了他的为人与治学辩证统一的高尚风范。

4. 认识论上的新综合

钱学森提出的现代科学技术体系、开放的复杂巨系统理论以及从定性到定量的综合集成方法等等,在认识论方面也作出了一系列重要的理论贡献。

首先,坚持了认识辩证法的思想。列宁指出:"辩证法也就是(黑格尔和)马克思主义的认识论"[10]。他还认为,"辩证法,按照马克思的理解,同样也根据黑格尔的看法,其本身包括现在称之为认

识论的内容，这种认识论同样应当历史地观察自己的对象，研究并概括认识的起源和发展，从不知到知的转化。”[16]钱学森的上述理论和方法，就在现代科学技术体系的基础上，坚持并深化了认识辩证法的思想。因为这些理论和方法，不仅包括了科学史和技术史乃至哲学史的精华，而且深化了认识运动的辩证过程，特别是从定性到定量的综合集成方法，更加突出地体现了认识运动的辩证过程。

其次，展现了认识论从中发展的知识领域。如前所述，列宁在《哲学笔记》中所揭示的认识论和辩证法从中形成的知识领域的见解，从某种意义上可以看作是列宁认识论思想的一个理论大纲。钱学森的上述理论和方法，特别是现代科学技术体系的理论架构，就给出了发展现代认识论的现代科学技术体系和知识网络，而且，把认识论作为连接思维科学与马克思主义哲学的一座桥梁。这些都是对马克思主义认识论的重大理论贡献。

再次，体现了知识体系的辩证性。列宁认为：“辩证法是活生生的、多方面的（方面的数目永远增加着的）认识，其中包含着无数的各式各样观察现实、接近现实的成分（包含着从每个成分发展成整体的哲学体系），——这就是它比起‘形而上学的’唯物主义所具有的无比丰富的内容”[10]。钱学森的上述理论和方法，特别是现代科学技术体系是一种动态发展的网络系统，这种系统是不断演化的，不断进步的，会有新的大的科学部门出现。而且，构筑现代科学技术体系是一项长期的认识任务。“问渠那得清如许，为有源头活水来。”[17]这正是钱学森的上述理论和方法的认识辩证性之所在。

当然，开放的复杂巨系统的理论和方法也是认识过程中的一种相对结晶，它只是辩证前进过程中的认识环节。钱学森认为：

"开放的复杂的巨系统理论及方法有其局限性，但这样认识是实事求是的，这种理论和方法也是有效的，因为它比那些脱离现实的所谓'理论'更合乎实际。"[18]这种局限性表现在："它只能管一定的时期过一段时间，宏观情况变了，巨系统成员本身也会有其变化，具体的计算参量及其相互关系都会有变化。"[18]"因此对开放的复杂巨系统，只能作比较短期的预测计算，过了一定时期，要根据新的宏观观察，对方法作新的调整。"[18]这样看来，钱学森是自觉地坚持认识辩证法的，他不把他的理论和方法看成是穷尽真理的封闭体系，而如实地看作是一种开放的复杂巨系统，是一种辩证前进过程中的联系环节。

3. 科学的社会功能在于造福人类

科学既具有认识世界的功能，又具有改造世界的功能。这两种功能的辩证综合，集中地体现为科学的社会功能在于造福人类。

(一)科学的认识功能

钱学森不仅提出了科学是认识世界的学问，而且他自己所走过的科研道路就体现了他的这种科学观的认识轨迹。几十年来，他从工程技术到技术科学再到基础科学，然后上升到现代科学技术的综合交叉与马克思主义哲学，构建了科学的、动态的现代科学技术体系。在这个过程中，他不仅深刻地考察了科学技术发展的历史性、现实性、交叉性的发展历程和总体趋势，总结了其中的思想精华和基本经验，而且作为一位科学战略家，他对科学技术发展的情形、特点、关系、本质、规律和功能作了前瞻性、综合性、创造性的研究，提出了许多创新性的科学思想和理论见解。例如，关于现

代科学技术体系的见解；关于系统科学特别是开放的复杂巨系统的理论和方法的见解；关于现代科学技术以及人类其他认识成果与马克思主义哲学辩证关系的见解；关于现代科学技术与培养现代人才的关系的见解；等等。这些思想和见解都深刻地表明了科学的认识功能。

(二)科学的实践功能

钱学森认为，科学技术也是改造世界的强大的精神武器。

1. 科学革命是四大革命之首

在当代社会条件下，科学的实践功能，很重要的一个方面是通过科学革命与技术革命、产业革命、社会革命的辩证关系表现出来的。而科学革命是这四大革命之首，它转化为改造世界的强大的精神因素和智力动力。这方面的详细论述见第12章。

2. 要用现代科学技术建设有中国特色的社会主义

科学无国界，科学应当为整个人类造福。科学家有祖国，科学家应当首先为祖国人民服务。钱学森正是这样一位杰出的爱国的科学家。几十年来，钱学森从一位科学家、爱国者走上马克思主义者的道路，使他忠心耿耿地献身于社会主义祖国的伟大建设事业。伟大的爱国之心和坚定的马克思主义信仰，促使他总结实践经验，创造科学体系，理论联系实际，面向新的世纪，要使社会主义祖国巍然屹立于世界的东方。

很多科学家都记得这样的情景：在中南海紫光阁，江泽民见到钱学森时亲切地问候他，谦虚地说："您好！您是我的学长，现在身体怎么样？"当得知钱学森获得"小罗克韦尔奖章"和进人"世界科技与工程名人"的行列后，江泽民向他表示热烈的祝贺，称赞他是"中国人的骄傲"[19]。钱学森八十寿辰的前夕，在1991年10月16

日举行的授予钱学森同志“国家杰出贡献科学家”荣誉称号和一级英雄模范奖章的仪式上，江泽民同志代表党和国家发表了热情洋溢的讲话。他称赞“钱学森同志是一位具有高尚的爱国主义精神，坚定不移地为社会主义事业奋斗的战士。……钱学森同志是我国爱国知识分子的典范，他的经历体现了当代中国知识分子追求进步的正确道路”[20]就在这次会上，钱学森作了即席发言，他一方面真诚地表示应当把荣誉归于祖国和人民，一方面又表述了自己晚年的打算和心愿。他说：“我认为今天科学技术不仅仅是自然科学工程技术，而且是人类认识客观世界、改造客观世界的整个知识体系，而这个体系的最高概括是马克思主义哲学。我们完全可以建立起一个科学体系，而且运用这个科学体系去解决中国社会主义建设中的问题。”他并且表示：“我在今后的余生中就想促进一下这件事情。”[21]确实，几十年来，钱学森在应用力学、喷气推进与航天技术、工程控制论、物理力学、系统工程、系统科学、思维科学、人体科学、科学技术体系与马克思主义哲学[22]等与祖国社会主义现代化建设相结合方面，都做出了杰出的实践成就和理论贡献。

不仅如此，钱学森还运用他的现代科学技术体系特别是开放的复杂巨系统的理论和方法，展开为社会主义现代化建设的九大方面，尤其是其中的现代科学技术与社会主义精神文明建设的关系，更加凸显了他的科学技术为社会主义现代化建设服务的科学观点。

4. 现代科学技术与马克思主义哲学的辩证关系

钱学森认为，一方面，现代科学技术应当以马克思主义哲学为指导，另一方面，现代科学技术又可以丰富、深化、发展马克思主义

哲学。钱学森作为著名科学家，他在考察现代科学技术与马克思主义哲学的辩证关系时，更侧重于阐发马克思主义哲学对现代科学技术的指导作用。

（一）马克思主义哲学是人类认识的最高智慧

钱学森指出：马克思主义哲学“是对人类知识、理论的最高概括”[23]，马克思主义哲学，辩证唯物主义是人类一切知识的最高概括，同时，“马克思主义哲学也是人类一切实践经验的最高概括”[24]。因此，马克思主义哲学是人类认识的最高智慧，是人类知识体系中的最高层次。1987年，钱学森在《智慧与马克思主义哲学》一文中，指出：“要有智慧就必须懂得并会用马克思主义哲学去观察客观世界的事物。这样我们就重新肯定了哲学的涵义：智慧的学问。但更明确了，必须是马克思主义哲学。”[25]他还指出：“发展交叉科学必须要用马克思主义哲学作指导。”[26]“如果能在交叉科学的研究中用好马克思主义哲学，那交叉科学在我国的发展，前途是光明的。这是必然的，无疑义的。”[26]

既然马克思主义哲学是人类认识的最高智慧，是人类知识体系的最高层次，因此，“基础科学研究应该接受马克思主义哲学的指导”[5]。“马克思主义的哲学既然是人类社会实践的最高的概括，它就应该对自然科学、社会科学、技术科学、数学和工程技术的发展有指导作用。必须承认这个指导作用。”[23]

钱学森在论述马克思主义哲学对现代科学技术的指导作用时，他有一个显著的特点，就是不仅从总体上、从现代科学技术体系的架构上阐明马克思主义哲学的指导作用，而且从分体上、从内容上深入地揭示了马克思主义哲学的这种指导作用。比如，从定性到定量的综合集成方法与马克思主义哲学的关系就是如此。钱

学森1991年8月12日在致于景元的信中指出："我们的从定性到定量综合集成法是建筑在《实践论》的基础上的，现在要说，从定性到定量综合集成法的工作过程是以《矛盾论》为指导思想的。"[27]因为"在建立数学模型的曲折过程中，要发现主要矛盾及矛盾的主要方面，而且要千万记住：矛盾是在发展运动，会转化的"[27]。同年7月22日，钱学森在致于景元的信中也曾指出："我们的中心观点是事物的矛盾及矛盾的不断发展变化"[27]，"因此要完善提高从定性到定量综合集成技术要引用《矛盾论》。"[27]

正因为马克思主义哲学对现代科学技术具有指导作用，因此就应当重视和坚持这种指导作用。面如果忽视和否定这种指导作用，那将是危险的。钱学森认为："所有的科学技术工作、自然科学、社会科学、技术科学、数学、工程技术，不用马克思主义哲学来指导，或者不重视马克思主义的哲学对于科学研究的指导作用，是危险的。"[23]他还指出："应用马克思主义哲学指导我们的工作，这在我国是得天独厚的。从我个人的经历中，我的确深有体会：马克思主义哲学确实是一件宝贝，是一件锐利的武器。我们在搞科学研究时(当然包括交叉学科)，如若丢弃这件宝贝不用，实在是太傻瓜了！"[26]1992年9月17日，钱学森在致笔者的信中，一方面，对我们组织现代科学与马克思主义认识讨论班给予肯定，一方面，又指出，有些"搞自然科学工程技术的自以为'务实派'，而不知他们正在脱离马克思主义哲学这个最大的'实'，危险呵！"

(二)现代科学技术可以丰富、深化、发展马克思主义哲学

钱学森认为，在他的现代科学技术体系中，条条道路都通向人类认识的最高智慧——马克思主义哲学，虽然这些道路有些是直接的，有些是迂回的。他指出："马克思主义的哲学也就是人类社

会实践的最概括的理论，随着人类的社会实践的不断发展，新事物的出现，当然要不断地充实、发展马克思主义的哲学。”[23]又说：“马克思主义哲学本身是要发展的，它要随着人类社会实践的积累而发展。发展了的自然科学、社会科学、数学、技术科学、工程技术，又影响马克思主义哲学的发展。”[23]为什么？因为现代科学技术和马克思主义哲学都是开放的复杂巨系统，它们在辩证互动的过程中交互作用，辩证发展，马克思主义哲学应当从自然科学、社会科学、技术科学、交叉科学等等的前沿成果中吸取营养，经过提炼和升华，成为丰富、深化、发展自己的思想素材和方法原料。

钱学森不仅从总体上论述了现代科学技术可以丰富、深化、发展马克思主义哲学，而且从分体上即从典型案例上具体而又深入地阐明了现代科学技术是如何丰富、深化、发展马克思主义哲学的。例如，对从定性到定量综合集成方法和研讨厅体系，钱学森就作了典型的案例考察。他指出：“我看从定性到定量综合集成法，实质上体现了辩证思维，是应用知识工程及信息技术来完成陈云同志提出的‘不唯上、不唯书、只唯实，交换、比较、反复’。”[27]他还指出：“用马克思主义哲学为指导，我们在学习领会毛泽东同志和老一辈无产阶级革命家的言论后，结合现代科学，提出从定性到定量综合集成法，是认识方法论上的一次飞跃。”[27]他还认为：“在社会主义中国，我们应该把这个宝贵经验（指 Seminar ——引者注）与马克思列宁主义毛泽东思想和现代科学技术结合起来，这就是厅。”[27]“这个厅是21世纪的民主集中制工作厅，是辩证思维的体现！”[27]这一套体现了科学方法与社会主义制度的有机结合。钱学森指出：“这一套实际也是千百万革命者在中国革命战争中流血牺牲的经验总结。所以我们的大成智慧工程和综合集成研讨厅体系是有革命性的，资本主义国家是想学也学不了的！我们真正贯彻

民主集中。”[27]

钱学森对现代科学技术如何丰富、深化、发展马克思主义哲学的考察，还就现代科学技术深层次的前沿领域作了一些前瞻性的探索，比如对思维科学的研究就是如此。钱学森认为：“思维科学，把认识论作为桥梁，也还是马克思主义哲学的结构的一个组成部分。”[28]“思维学作为思维科学的基础科学之上，上升到一切人类知识最高概括的马克思主义哲学要通过一座桥梁，即认识论。”[28]同时，钱学森对思维科学的概念定义、学科定位、基本内容、主要任务和运行机制都作了前瞻性的宏观构想[29]。这对于丰富、深化、发展马克思主义哲学特别是马克思主义认识论具有深刻的理论意义。

5. 科学技术与人才培养

随着现代科学技术的进步和当代社会实践的发展，人才的重要性日益突出出来，人才培养的素质要求也日趋全面、综合和高质。钱学森关于科学技术与人才培养的科学思想，大致上可以从如下三个方面来加以说明。

（一）科学技术是提高整个中华民族综合素质的重要内容

当代社会实践的发展和科学技术的进步，日益显示出社会实践过程是一种复杂的动态网络系统。这种复杂的动态网络系统包括实践主体、实践对象和实践手段三个子系统。实践主体在这种网络系统中处于支配的地位，起着决定的作用。这样，要提高实践主体的综合素质，就必须加强社会主义精神文明建设，全面提高实践主体的思想道德素质和科学文化水平。

同时，钱学森认为：“科学技术成为生产力的精华，没有科学技

术就谈不上生产力,这就是'智力战',21世纪是智力战的时代。"[23]"科学技术被用来改造客观世界就是生产力,科学技术作为人认识客观世界的一种知识并上升到哲学,这就是文化。"[23]据此,钱学森指出:科学技术已成为影响国家经济增长和劳动生产率增长诸因素中的主要因素,成为推动生产力发展的决定性力量。谁掌握了科技进步的制高点,谁就掌握了国民经济的制高点,谁就可以在以科技为基础的综合国力的国际竞争中处于领先地位。而科技靠人才,人才靠教育。教育领域应当源源不断地培养出高素质的人才。由此可见,当代社会实践的发展和科学技术的进步,要求人们确立对事业高度负责和严谨踏实的态度,培养大力协同和集体主义的精神,造就思维敏捷、快速应变的品格和能力,养成勇挑重担、严明纪律的优良作风。钱学森认为:应当达到"周恩来同志、聂荣臻同志领导'两弹一星'工作时,向参与人员提出的要求:1、高度的革命觉悟(即一切为了集体事业,不惜牺牲自己)。2、高度的组织纪律性(即服从集体的决定,决不固执己见)。3、高度的科学性(即一切按已知的客观规律办)。这是周恩来同志、聂荣臻同志把打大规模解放战争的一套成功经验移植到'尖端技术'工作中来了。"[27]从一定意义上说,这也是对提高整个中华民族综合素质的前瞻性的基本要求。

尤其应当重视和培养中华民族的创新精神和创造性思维。创新和创造是科学探索的基本任务,是民族精神的灵魂,是社会进步的不竭动力。在现代科学技术高度分化又高度综合而以综合为主的一体化趋势的情况下,科学技术突破的生长点往往存在于科学技术的交叉地带和结合部位。要能高瞻远瞩、非常敏锐地找到科学技术的生长点,取得科学技术的重大突破,就更应当着力培养这种创新精神和创造性思维。钱学森认为,跨度越大,创新程度也越

大。而这里的障碍是人们习惯中的部门分割、分隔,打不通。大成智慧教我们总览全局,洞察关系。所以能促使我们突破障碍,从而做到大跨度地触类旁通,完成创新。

只有适应上述的形势和要求,全面提高整个中华民族的综合素质,才能顺利地建设有中国特色的社会主义。可见,全面提高整个中华民族的综合素质,这是根本。

(二)关键是培养各级领导人才

钱学森认为:“现代领导人才的培养,特别是高级领导人才的培养,这是一个重大的问题,也是领导科学要研究的一个很重要的课题。”[30]对于领导人才的综合素质,钱学森也提出了总体的设想和具体的要求。从总体上看,“领导者要有两方面的素养,一个方面是方法,就是领导、决策的科学方法所需要的学识;另一个方面是胆略,就是指领导和决断的气魄、决心、胆识和眼光。”[30]同时,钱学森对领导人才的培养,提出了比较具体的全面要求。他指出:“领导干部需要有广博的知识,领导干部的培养,可考虑六个方面的内容:第一个方面就是马克思主义哲学、科学社会主义和政治经济学。……第二个方面,就是理论联系实际,对我们今天的世界必须很好的了解,了解中国和世界的地理、资源、人口、生产、贸易、军事、文化等等,要了解当前,必须了解过去,知道一点中国的历史、世界的历史。第三个方面就是现代科学技术概况。……要经常学,因为科技在不断进步。第四个方面,对于文学艺术要有一定的修养。我们老一辈革命家毛主席、周总理、朱德、陈毅的文学修养都很高,他们的文学艺术修养,对于他们杰出的领导才能的形成是有关系的。第五个方面是军事知识。军事知识也是培养胆识、胆略的一个重要方面。……第六个方面,作为领导者怎样在繁重的

工作任务中保持健康的身体。"[30]对领导人才的培养,应当着重培养出一批又一批的帅才和将才。要使这些人具备上述的品质和条件,尤其要学会应用马克思主义的立场、观点、方法,结合具体实际,进行创造性的思维和创造性的工作。钱学森指出:"用周恩来同志的话,我想帅才就要'举重若轻',而落实工作又要'举轻若重'。我们的从定性到定量综合集成法或大成智慧工程,就要把众人'举重若轻'和'举轻若重'结合统一起来;在定方针时居高远望,统览全局,抓住关键;在制定行动计划时又注意到一切因素,重视细节。"[27]

在新的历史条件下,广大干部特别是领导干部是按照党的基本理论、基本路线、基本纲领,并结合具体情况领导人民从事社会主义事业的中坚力量。政治路线确定之后,干部具有决定性的作用。在这样的历史条件下,干部队伍应当保持和发扬革命战争年代那种全心全意为人民服务的精神,理论联系实际、密切联系群众、批评与自我批评的三大作风,艰苦奋斗、清正廉洁、遵守纪律的优良传统。榜样的力量是无穷的。"其身正,不令而行。其身不正,虽令不从。"唐朝诗人李商隐在《咏史》诗中说得好:"历览前贤国与家,成由勤俭破由奢"。[31]我们的干部队伍应当发扬中华民族的传统美德,并用共产主义的世界观、人生观、价值观来规范和督促自己,要坚持讲学习、讲政治、讲正气,按照"三个代表"的要求,把全副心力用在党和人民的革命与建设事业上,从而正确有序地推进我国整个社会主义事业。

(三)重点是培养广大青少年

广大青少年是祖国的未来,民族的希望,好像早晨八九点钟的太阳。钱学森认为,中国教育应当按照"面向现代化,面向世界,面

向未来”[32]和培养“有理想、有道德、有文化、有纪律”[32]的社会主义新人的要求，用社会主义精神文明的内容培养出一代又一代的社会主义新人。这些人应当熟悉现代科学技术体系；熟悉马克思主义哲学；理、工、文、艺结合，有智慧；熟悉信息网络，善于用电子计算机处理知识。这些人十八岁就应当达到硕士研究生毕业的水平，然后再深入造就，综合发展。这样的人应当算是全才。当然，要注意处理全与专的辩证统一的关系。根据党中央、国务院的有关规定和钱学森关于培养广大青少年人才的宏观构想，具体到中国高等教育的人才培养来说，应当在三个面向和四有新人的要求下，在培养各种类型、不同层次的专门人才，以满足经济建设主战场需要的同时，培养出一批又一批高级的综合人才或者通才。这些人应当具有坚定正确的政治方向，纯洁高尚的道德品质，在业务上能够实现文理交叉，中西贯通，古今融会，运筹谋划，成为现代科学技术领域和哲学社会科学战线的帅才或将才。这些人能够从事和组织综合的、创造性的研究，对国家的经济建设、科教繁荣和社会进步作出开拓性的贡献。

培育英才骄世纪，中华雄立论风流。钱学森关于现代科学技术与人才培养的设想，在社会主义现代化建设的网络系统中是抓住了主导的系统。让我们在社会主义现代化建设的网络系统中，以科教兴国战略为指导，把科学技术与人才培养的事业推进到新的阶段，提高到新的水平，促进群星灿烂、人才辈出的可喜局面的出现，使社会主义祖国创造出新世纪的辉煌。

参 考 文 献

1 《简明不列颠百科全书》，第4卷，中国大百科全书出版社，1985，第720—

721 页
2 《哲学百科全书》,1964,第 562—563 页、
3 钱学森 1992 年 12 月 11 日会见王寿云等六人的谈话。
4 《毛泽东选集》第一卷,人民出版社 1991 年版,第 309 页。
5 钱学森:《基础科学研究应该接受马克思主义哲学的指导》,《哲学研究》,1989(10),第 3、5 页。
6 《马克思恩格斯全集》,第 42 卷,人民出版社,1979,第 128 页。
7 《马克思恩格斯全集》,第 20 卷,人民出版社,1971,第 15、599、15、15、635-636 页。
8 《马克思恩格斯选集》,第 4 卷,人民出版社,1995,第 246、347、344 页。
9 《列宁全集》,第 25 卷,人民出版社,1988,第 43 页。
10 《列宁全集》,第 55 卷,人民出版社,1990,第 201、302、302、302、302、122、134、137、165、185、308、308 311 页。
11 钱学森:《论技术科学》,《科学通报》,1957(2),第 98—103 页。
12 钱学森:《科学技术的组织管理工作》,《红旗》,1963(22),第 19—21 页。
13 钱学森:《我们要用现代科学技术建设有中国特色的社会主义》《九十年代科技发展与中国现代化系列讲座》,湖南科学技术出版社,1991,第 15 页。
14 《马克思恩格斯选集》,第 3 卷,人民出版社,1995,第 383 页。
15 《列宁选集》,第 4 卷,人民出版社,1995,第 419 页。
16 《列宁选集》,第 2 卷,人民出版社,1995,第 422 页。
17 朱熹:《观书有感二首》,见袁行霈主编:《历代名篇赏析集成》(下),中国文联出版公司,1988,第 1698 页。
18 钱学森,在 1997 年 1 月 6—9 日香山会议上的书面发言,此次香山科学会议的主题是“开放的复杂巨系统的理论与实践”。
19 倪迅:《尊重知识尊重人才——江泽民关心重视知识分子纪事》,《光明日报》,2001—06—28(B1)。
20 江泽民:《论科学技术》,中央文献出版社,2001,第 31-32 页。
21 钱学森:《在授奖仪式上的讲话》,《人民日报》,1991 10 19,3 版。
22 《中国现代科学家传纪》,第 1 卷,科学出版社,1991,第 780—791 页。
23 钱学森讲、吴义生编:《社会主义现代化建设的科学和系统工程》,中共中央党校出版社,1987,第 107、108、111、53、59 页。

24 钱学森1994年春致钱学敏的信。

25 钱学森:《智慧与马克思主义哲学》,《哲学研究》,1987(2),第5页。

26 中国科学技术培训中心编:《迎接交叉科学的时代》,光明日报出版社,1986,第4、5页。

27 王寿云、于景元、戴汝为等:《开放的复杂巨系统》,浙江科学技术出版社,1996,第278、278、277、277、274、276、281、280—281、292—293、292、291页。

28 钱学森主编:《关于思维科学》,上海人民出版社,1986,第18、16页。

29 参见王寿云、于景元、戴汝为等:《开放的复杂巨系统》,浙江科学技术出版社,1996,第270—292页;赵光武主编:《思维科学研究》,中国人民大学出版社,1999,代序,第I—VI页。

30 钱学森、刘吉、杨沛霆等:《现代领导科学与艺术》,军事译文出版社,1985,第13、13—14、15—16页。

31 李商隐:《咏史》,《玉谿生诗集》,卷一。

32 《邓小平文选》,第3卷,人民出版社,1993,第35、110页。

第1章 钱学森与力学

钱学森于1935—1936年赴美国麻省理工学院航空工程系学习，取得硕士学位。1936—1939年转学美国加州理工学院，师从力学大师冯·卡门，学习与飞机设计制造有关的理论基础——应用力学，取得博士学位，留校成为冯·卡门的得力助手，研究与高速飞机和火箭有关的力学问题，特别是围绕突破“声障”和“热障”的前沿难题，并做出重大贡献。1945年参加以冯·卡门为团长的赴德考察团，考察第二次世界大战时期纳粹德国研究发展飞机和火箭的状况，帮助冯·卡门写出给美国政府当局的研究报告《迈向新高度》，成为美国战后发展航空和航天技术的科学规划。紧接着，加州理工学院提升他为副教授。1946年，东赴麻省理工学院任该校空气动力学副教授，次年即晋升为正教授。1949年又回到加州理工学院，任喷气推进中心(JPC)讲座教授。是年，新中国成立，钱学森开始回国的准备，却遭受美国政府的无理阻挠和迫害。在滞留期间，写出《物理力学》和《工程控制论》等名著。1955年终于回到祖国，参加新中国的建设事业。1956年创建中国科学院力学研究所，同年兼任国防部第五研究院(导弹研究院)院长。从此，钱学森成为中国力学界和航空航天界的领路人。

钱学森先生是国际知名的力学大师，他的许多力学著作堪称经典文献，他对近代力学以至技术科学的内涵和发展方向发表过全面系统的论述。作为对力学家钱学森和近代力学史的研究的一

点探讨，本章将分四个部分展开讨论，即：从学习"火车头"转向研究"飞机"；在美国的力学研究；对中国发展技术科学的倡导和贡献；最后谈点体会。

1.1 从学习"火车头"转向研究"飞机"[1]

钱学森出生在书香门第，自幼秉性聪慧。父亲钱均夫曾留学日本，民国成立后任职于教育部，对儿子的教育很注意行为规范，做事要求有板有眼。钱学森就学于北京的女师大附小、师大附小和师大附中，受到林砺儒、王鹤清、董鲁安、傅种孙等好老师的启蒙教育，使他产生对旧社会腐败的不满和对祖国前途、人民命运的关心，同时使他萌发了对科学的强烈兴趣。1929年中学毕业后，钱学森为复兴祖国，决心学习工科，眼见庞大的祖国疆土，关山阻隔，军阀割据，交通落后，阻碍发展，便考入交通大学机械工程系，学习铁道机械工程专业。在交大，钱学森非常感激两位倡导把严密的科学理论与工程实际结合起来的老师，他们是工程热力学教授陈石英和电机工程教授钟兆琳。

1934年，钱学森以优异的成绩从交通大学毕业。大学的学习大大拓宽了眼界，他的兴趣逐渐转向了新一代的交通工具——飞机，同时也认识到飞机在战争中的重要作用。当时的国民党政府在1928年设立了航空署，1934年改称航空委员会，下面只有修理厂，而不能制造飞机。1932年1月28日，日本飞机轰炸上海，中日空军多次空战，我英勇战士驾驶的却不是国产飞机。钱学森深切觉悟到，为了能抵御列强的侵略，中国有必要建立自己的航空工业。因此，他报考清华学堂公费留学，专业是飞机设计。考试的专业科目是航空工程，得到了极高的分数——87分，终于被录取公

费留美。这就是后来他自己说的从学习笨重的"火车头"转向研究轻巧的"飞机"的过程。

1.2 在美国的力学研究[1,2]

1935年秋，钱学森从上海坐船离国。当时他的心情是，中国混乱，豺狼当道，先去美国学好技术，他日回来为国效劳。到达美国后，进入麻省理工学院航空工程系学习。学业成绩超群，这使他感到作为一名中国人而自豪。然而，学工程一定要到工厂去实习，而当时美国的航空工厂却不欢迎中国人。所以，经过一年时间，取得了麻省理工学院的硕士学位以后，他决定转向学习与航空工程有关的基础理论，即应用力学的学习；决定追随加利福尼亚理工学院的力学大师冯·卡门(Theodore von Kármán)。

1. 应用力学研究的时代背景[4,5]

1936年10月，钱学森转学到加州理工学院，开始了与冯·卡门先是师生、后是亲密合作者的情谊。冯·卡门第一次见到钱学森时，面前是一位个子不高、仪表严肃的年轻人；他异常准确地回答了教授的所有提问；他思维敏捷并富于智慧，给冯·卡门以深刻的印象。冯·卡门教授教给钱学森从工程实践提取理论研究对象的原则，也教给他如何把理论应用到工程实践中去的本领。冯·卡门每周主持一次研究工作讨论会(research conference)和一次学术研讨会(seminar)，这些学术活动给钱学森提供了锻炼创造性思维和能力的良好机会。

这里有必要介绍一下钱学森的导师冯·卡门和加州理工学院当时的背景情况，便于探索钱学森是在什么环境条件下学习应用

力学以及如何进一步开创自己的研究方向。

上个世纪一开始，航空技术的发展和流体力学的研究基本上是脱节的。1903年，W. Wright 和 O. Wright 兄弟实现了第一次有人驾驶的动力飞行，但流体力学家并没有给他们提供设计原则。

19世纪，理想流体（即无粘性流体）力学的理论已经比较完整地建立起来。这个理论的第一个结论被人称之为 D'Alembert 佯谬。它说明，物体在无粘性的流体中运动，并不受到流体的任何作用力，既无阻力，也无升力。理论和实际严重矛盾。只是到了1904年，德国的普朗特（L. Prandtl）提出了边界层理论，认为只要在紧贴物体表面的一薄层的流体中考虑粘性的作用，就可以大大化简了流体力学方程，并求得了物体所受到的摩擦阻力。从此，由普朗特开创的应用力学便和航空技术紧密地结合起来，并且成为推动航空技术发展的理论基础。

如果说，上个世纪初是普朗特在德国的哥廷根（Güttingen）开创了应用力学学派，那么到了1930年是普朗特的得意门生冯·卡门把应用力学从德国带到了美国。当时美国加州理工学院的校长密立根（R. A. Millikan）从德国把冯·卡门请来，主持该校的航空工程系。在普朗特和冯·卡门那个时代，一些国家的政府已经注意到飞机的军事用途，纷纷成立航空科研机构。第一次世界大战中大规模使用了飞机。飞机性能迅速提高，从双翼机发展到单翼机，从木布结构发展到全金属结构，从敞开式到密闭式，从固定起落架到收放式起落架，飞机的升限、速度以至发动机的功率好几倍地提高。上述进步的每一项都和应用力学研究的进展紧密相关。力学大师们围绕飞机的升力和阻力的原理，系统地开展理论研究和风洞试验，为工程师们提供设计飞机外形的原则和基本数据、围绕材料和结构的强度原理提供选择材料和结构形式的依据。其中最为

突出的研究成果可推流体力学中的机翼理论、升力线理论和边界层理论等;而在固体力学方面,则推动了薄壁结构和板壳理论的发展。

上一世纪初最早的十年里,由英国的 F. W. Lanchester(1894, 1907 ~ 1908)、德国的 M. W. Kutta(1902)以及俄国的 H. E. Жуковский(1906)和 C. A. Чаплыгин(1909)提出了决定升力的环流理论。紧接着,Lanchester 和 Prandtl 又研究了有限翼展机翼的升力,特别是 Prandtl(1918)提出了系统的可以计算的升力线理论,成为设计中等速度飞机的科学基础。

至于阻力的原理,今天人们已经知道,阻力包括压差阻力和摩擦阻力,而压差阻力又可分为因产生升力而引起的感生阻力和尾流阻力两部分。Prandtl 的边界层理论奠定了计算摩擦阻力的基础,当然这只适用于低速层流的情况。高速湍流的机制十分复杂,至今仍是基础研究的前沿难题。在 G. I. Taylor(1935)提出湍流的统计理论以前,普朗特和冯·卡门分别提出了可供实用的计算湍流摩擦力的半经验理论,即混合长理论(Prandtl 1925)和流速的对数律分布(von Kármán 1930)。计算感生阻力的公式是由 Prandtl-Munk(1918)提出来的。至于尾流阻力,重要的贡献是冯·卡门(1911)所揭示的尾流区中的交替脱落的"卡门涡列"现象,给后人避免尾流涡列引起的颤振灾难提供启示。

上述内容简单地勾画了冯·卡门 1930 年应聘加州理工学院之前流体力学配合航空技术发展的研究概貌。可以看出,当时的欧洲科学家,特别是德国的以普朗特—冯·卡门为代表的哥廷根应用力学学派对于推动航空和发展力学所起的核心作用。

2. 加州理工学院和冯·卡门[5]

现在世界闻名的加州理工学院,前身是不知名的 Throop 工学

院,1920年改名为加州理工学院,简称Caltech。1922年,请来了密执安大学的R. A. Millikan担任校务委员会主席(当时未设校长一职)。Millikan因著名的测定基本电荷的油滴试验而在1923年获诺贝尔奖。他上任以后,不遗余力地热心培养、邀请青年的杰出人才来校担任教授。他先从欧洲请来著名的物理学家Lawrence以及数学和物理学家P. Epstein。

1926年,Millikan得知大富翁Daniel Guggenheim向纽约大学、麻省理工学院和密执安大学提供特别基金以资助航空工程的教学和科研。他立刻赶往纽约拜访Guggenheim,慷慨陈词阐明在南加州发展航空工业具备的天时地利。Guggenheim最终被说服,同意提供航空基金,但有个条件:要物色一位欧洲的航空科学专家来建立实验室。Millikan回校与Epstein商量,决定邀请德国Achen大学的冯·卡门来主持工作。经过1926~1929三年来Millikan坚忍不拔的诚恳邀请,冯·卡门终于在1929年12月来到Caltech主持航空工程系的工作。

冯·卡门到了Caltech不久,便感受到那里有着广泛的自由和独立思考的气氛。同时,他也发现那里的教学很呆板,基本上是死记硬背,而不注意培养学生创造性的思维能力。他陆陆续续为培养年轻的航空工程师开出一系列新课,如空气动力学、航空应用弹性理论、动力气象学基础等。讲授总是从基本概念出发,以便提高学生运用原理的能力。冯·卡门也注意在Caltech创造一种国际气氛,热心推荐和接纳有代表性的各国留学生,他们带来新思想,并通过他们推动世界科学的发展。

冯·卡门一方面努力改进教学,另一方面与航空工业界保持紧密联系,开展科学研究。上世纪30年代中,美国商业航空公司的先驱Douglas公司、Lockheed公司等先后在南加州落户开张。冯·

卡门为Douglas公司的DC-1型飞机解决了因提高速度而发生颤振的问题,他采用了整流板,消除了形成振源的卡门涡列。他为了提高抗弯刚度,在金属板壳上加上加强筋,成功地使DC-3型飞机成为第一架全金属飞机。这些成就为Caltech在新兴飞机制造业中赢得重要地位。

冯·卡门每周主持一次工作会议和一次学术活动,周周都开,神圣不可侵犯。在工作会议上,希望每个人都报告自己的工作,不管是教授还是学生,讨论十分活跃,说错了也不要紧。冯·卡门的指导思想显然是:所有的人都参加这个集体所从事的工程科学的原始研究,每个人的研究都是重要的工作,希望每个人都能充分发挥自己的学识和经验,并对别人作出贡献。因此这种活动极其成功,深受欢迎。

3. 博士学位论文和卡门-钱近似方法[2]

1935年,冯·卡门参加第五届Volta会议,会议邀请了世界上主要的空气动力学专家参加。冯·卡门认为这次会议标志着超声速时代的开始。从此,冯·卡门的学术研究转向为实现超声速飞机而创建力学理论。

1936年,钱学森到达加州理工学院,从师冯·卡门,在上述时代背景下开始做他的博士学位论文工作。冯·卡门建议他研究与高速飞行直接相关的考虑空气可压缩效应的问题。经过3年时间的紧张和艰苦的工作,1939年他完成了极其出色的博士学位论文。论文的内容丰富多彩,包含四个部分。前面三个部分的工作都是冯·卡门建议做的,它们是:可压缩流体边界层;有倾角的回转体的超声速绕流以及应用恰普雷金变换求解二维亚声速流动。第四部分则是和同学马林纳合作研究的结果,内容是以逐次脉冲推

进的探空火箭的飞行分析。

博士论文第一部分的工作内容涉及高速飞行体所受到的阻力和表面热效应。在那时的科技文献中,普遍认为超声速飞行的空气阻力主要来自激波阻力,而表面摩擦阻力并不重要。至于热效应,一般认为飞行体的表面被周围的空气所冷却。解决这一问题的主要困难在于,飞行体周围的空气密度发生显著的变化,方程不再是线性的。钱学森采用了 von Mises 简化方程的做法,然后运用逐次迭代的近似解法,取得了成功。他把已知的不可压缩流动的解推广到可压缩流动,即飞行马赫数比较大的情况,得到了关于高速飞行体的阻力和热效应的崭新的重要结论:第一,在高速飞行中,可压缩性对表面摩擦具有重要影响,摩擦阻力大于激波阻力;第二,当飞行马赫数增大到一定数值,飞行体表面的空气薄层中所产生的热量不仅不能被忽略,而且将对飞行体起加热的作用。这一新结论的重要性在于,从理论上预见了实现高速飞行将面临的一大障碍,即后人所称谓的"热障",必须对飞行体表面采取有效的冷却或防热措施,才能实现高速飞行。这一研究成果发表在 1938 年的《Journal of Aeronautical Sciences》(航空科学学报)上。

博士论文第三部分的工作内容是寻求计算高速飞机机翼面上压力分布的方法。在那个年代,对于平面超声速流动,可以采用已有的特征线法计算翼面上的压力分布;可是对于亚声速流动,已有的方法只能计算机翼很薄或飞行速度较低的情况。1932 年 Demtchenko(丹姆千科)以及 1933 年 Busemann(布兹曼)采用了查普雷金变换,把原来的非线性的方程化为线性方程,并将等熵关系曲线用驻点处的切线来代替,求得翼面上的压力分布,可惜计算结果只适用于飞行速度小于 0.5 倍声速的情况。冯·卡门凭着对物理问题的洞察力,建议钱学森在求解由查普雷金变换得到的线性方

程时，不用驻点处的切线而改用来流状态点处的切线来代替等熵关系曲线，可能会得到更好的计算结果。钱学森的研究证明，虽然同样是切线近似，采用来流状态点处的切线近似，果然得到更为精确的计算结果，而且可以把切线近似的适用范围扩大到高亚声速的流动。其原因在于：在流场的大部分区域，流速和声速的数值更接近于来流的数值，而不是接近于驻点处的数值。这一研究成果发表在 1939 年的《Journal of Aeronautical Sciences》（航空科学学报）上。在第二次世界大战期间以及战后一个相当长的时期，上述近似计算方法被广泛应用于飞机翼型的设计，这就是著名的"卡门-钱近似"方法。

上面只是对他博士论文的第一和第三两部分作了简介，从中可以看出，钱学森刚进入力学界便写出了对空气动力学的发展起重要作用的经典文献，展示出他的过人才华。

1939 年 6 月，钱学森获得航空与数学博士学位。接着留校担任助理研究员，直到 1944 年。在这段时间里，先从事薄壳稳定性的研究，1940 年结束了这项研究，并撰文发表，算是出了师。此后，钱学森逐渐成为冯·卡门的得力助手，并最终发展为亲密合作者。

在 1939—1953 年这十多年的时间里，钱学森在应用力学这一领域中，紧密联系高速飞行，为突破"声障"和"热障"，对面临的前沿难题，几乎全方位地进行探索，并做出重大贡献。下面将选择他工作中的三个部分作点分析，即：薄壳稳定性，跨声速流动以及高超声速的稀薄气体力学的研究。

4. 薄壳稳定性[2]

1939 年，钱学森获得博士学位后，开始对薄壳的失稳问题发生了兴趣。之所以对这一课题发生兴趣而决定研究，出自两方面

的考虑。其一，当时第二次世界大战已经开始，飞机在战争中的重要作用益发明显，各国正在设计和制造全金属薄壳形式的飞机。薄壳结构的强度高而重量轻，当其接受的载荷超过一定数值时，壳体会发生皱瘪而失效，称之为屈曲。设计师需要知道发生这种屈曲的临界载荷的大小，可是用经典线性理论计算得到的数值却远高于试验值，只能依赖从相当分散的试验数据中整理得到的经验关系来进行设计。其二，为了解决上述理论和实验之间的矛盾，困难很大。理论上必须放弃小变形假设，需要考虑大挠度的影响，数学上遇到求解非线性方程的困难；实验上对条件的控制和现象的观测要求有高的技术。在深入研究这一问题之前，作者首先对前人的工作做了系统的总结，剖析了前人理论的优缺点，利用了当时可能得到的实验数据，认为应该从考虑有限挠度的弹性屈曲理论入手，采用能量法求取屈曲临界载荷。

钱学森首先研究球壳失稳的问题。在系统地分析了前人的理论和实验工作以后，认为既然经典的线性理论能精确地预报平板的屈曲载荷以及屈曲后的状态变化，很可能在平板和具有弯曲形状的壳体发生屈曲时，这两种物理过程间存在着一个尚未认识到的本质区别。经典理论之所以失败，在于没有考虑到，在加载过程中球壳除了保持球形位形以外，还可能存在多个位能更低的其他位形。壳体在受到外界干扰时，会被激发而从球形位形跃变到位能较低的某个位形上去。因而作者提出：有必要区分经典线性理论所给出的“上”屈曲载荷以及使壳体发生有限变形的屈曲时的“下”屈曲载荷。前者可以在试验中小心避免不对称等初始缺陷而达到，而在设计中所采用的临界载荷只能是后者。钱学森提出和运用上述能量跃变原则，计算得到的“下”屈曲载荷的结果确实和试验值很接近，上述理论很快被学术界和工程界所接受。这一结

果发表在1940年的《Journal of Aeronautical Sciences》(航空科学学报)上。

到了第二年,也就是1940年,钱学森进一步将能量跃变原则推广到应用更为广泛的柱壳的情况。他为了求取圆柱壳屈曲的临界载荷,围绕寻找壳体可能达到的位形,进行了大量推导和演算,手稿长达800多页。在推导得到圆柱壳非线性方程的基础上,对柱壳位移的形式作了反复试探和计算,力图正确表达柱壳发生菱状皱折的形态。终于,在手稿的733—741页上找到了比较满意的有关位移w的形式,并给出了特征方程;在手稿的最后50页上给出了柱壳缩短量与端部应力的关系,以及关于特征值λ的数值计算结果。这一研究结果发表在1941年的《Journal of Aeronautical Sciences》(航空科学学报)上。值得提到的是:上述结果是在他经历了多次失败后才取得的,手稿写了800多页,而正式发表的论文却只有十页。难怪在完成这项研究时,他在存放手稿的信袋上用红笔写下了"Final",即"最后的定稿"。但是作为一名严肃的科学家,他意识到该理论仍有不足之处,因此他又写下了"Nothing is final",即"(科学上)没有什么认识是最后的"这几个醒目的字,其中含有深刻的哲理,说明了真理的相对性,科学家追求真理是永无止境的。

5. 跨声速流动[2]

1940年以后,钱学森又把主要精力放在空气动力学的研究上。围绕突破声障的需要,先研究跨声速流动的规律,接着又探讨超声速,甚至超高声速流动的规律。

为突破声障,实现高速飞行,研究跨声速流场是个重要课题。他于1944年和1946年发表在NACA Technical Note上的两篇文章

是跨声速流动理论的经典文献。在前一篇中他讨论了跨声速流场中的极限线;而在与郭永怀合作的第二篇中则提出了上临界马赫数的重要概念。

对于给定机翼外形,当均匀的可压缩理想气体来流马赫数逐渐提高到达某一临界数值,飞行体附近的最大流速会达到局部声速,人称临界马赫数。钱学森和郭永怀认为:如果继续提高来流马赫数,飞行体附近出现超声速的流动区域,流动仍然会是连续的,仍然存在数学上的连续解。当来流马赫数进一步增加,突然会出现不连续分布的流场,并出现激波,这时的来流马赫数可称为上临界马赫数,它标志着流场从连续分布到不连续分布的突变,而前而提到的那个临界马赫数则称为下临界马赫数。应当说,真正有实际意义的是上临界马赫数,而不是以前大家所注意的下临界马赫数。因而上临界马赫数这一概念的提出乃是空气动力学中的一个重大发现。

这个重要概念的提出固然是个大胆的设想,但是要论证和计算它的存在则遇到数学求解的困难。描述运动的偏微分方程不仅是非线性的,而且流场中同时出现亚声速和超声速两个相邻的流区,数学上分别对应椭圆型和双曲型的偏微分方程,即使采用查普雷金变换,变成线性方程而求解,但必须解决好变换中的奇点处理问题。钱学森和郭永怀仔细地分析了奇点的性质,正确地得到了经过解析延拓的解;并且利用超几何函数的渐近性质,克服了级数收敛缓慢的困难,得到了包括亚声速和超声速流区的整个混合流场,从而进一步确定上临界马赫数的大小。

6. 超高声速流动和稀薄气体力学[2]

超级空气动力学—稀薄气体力学(Superaerodynamics)这个学

科最早是由 A. F. Zahm 提出来的，他在 1934 年发表了一篇论文，讨论有关高度稀薄气体的动力学问题。限于当时喷气技术的水平，要在那么高的高空飞行几乎是不可能的，所以超级空气动力学—稀薄气体力学（Superaerodynamics）只是一个纯学术研究的课题，并没有实际的工程意义。到了四十年代中期，钱学森考虑到喷气推进技术已经有了长足的进步，飞机的飞行不应受到高度的限制。远程喷气飞机（rocket airplane）的最优飞行高度估计在 100km 左右，那里的空气已经非常稀薄，不能当作常规流体力学中的连续介质看待，必须运用超级空气动力学—稀薄气体力学（Superaerodynamics）的概念和方法来指导飞机的设计。除了高空远航以外，超级空气动力学—稀薄气体力学（Superaerodynamics）的知识还可应用到很多涉及低密度的工业过程，例如用于蒸馏和化工作业的高真空泵的设计。钱学森 1946 年发表在《Journal of Aeronautical Sciences》上的“Superaerodynamics-Mechanics of Rarefied Gases”一文，讨论这一流体力学新分支的基本概念和说明某些已经得到的结果，以便引起大家的重视，推动这一流体力学分支的发展。后来，“Superaerodynamics”（超级空气动力学）一词很少有人采用，人们普遍采用“Mechanics of Rarefied Gases”（稀薄气体力学）一词。钱学森在这篇文章中首先介绍了分子运动平均自由程 l 的概念，并用 l 与物体的特征长度 L（或边界层厚度 δ）之比 l/L（或 l/δ）形成一个无量纲常数，在由马赫数 M 和雷诺数 Re 构成的平面上，以 l/δ 为指标把该平面划分为四个区域，即：自由分子流区，过渡区（其特征是分子间的碰撞和分子与物体表面的碰撞同等重要），滑流区和气体动力学区。于是，不同的流动问题可以由 M 数和 Re 数两个数值来判断属于哪类流动。接着，作者分别讨论了滑流的应力和边界条件，小 M 数滑流的边界条件，大 M 数自由分子流以及流过倾斜

平板的自由分子流及其作用下的升力和阻力系数。钱学森在这篇论文中所提出的关于流动区域的划分被人们认为是研究稀薄气体力学的开创性工作。

7. 火箭和喷气推进技术[2,5]

钱学森到加州理工学院做冯·卡门的博士生的那年，他的师兄马林纳(F. Malina)等三人满怀希望地向导师冯·卡门提出一个非同寻常的要求，希望支持他们研究探空火箭，以便能够探测高度达到30~80km处的宇宙射线和气象信息；而且马林纳还要以"火箭飞行和推进"为题写博士学位论文。在当时美国人的心目中，火箭是不切实际的玩意儿。有的教授还曾讥讽马林纳说，你还是到好莱坞去拍科幻电影为好。可是，冯·卡门深知火箭的重要性，当年在德国时就曾支持过火箭的研究工作，他认为这三个青年不仅具有热情和理想，而且都具备坚实的基本功和勇往直前的精神，便同意他们可以利用实验室的设备，并答应马林纳做火箭推进和飞行特性方面的学位论文。

钱学森在一旁对他们的工作观察了一年以后，第二年即1937年，也决定参加他们这个火箭研究小组。他参加了他们的试验，并在小组里担任理论家的角色，为小组设计和改进小型液体推进剂火箭，对发动机的热力学特性作理论分析，包括：分析计算燃烧室中的温度，燃烧产物的膨胀对火箭效率的影响，发动机的推力，火箭的理想效率等等。

当时火箭的技术水平是不高的。L. Damblanc(1935)根据静态燃烧试验所做的估计，火箭可达到的高度只是3km，还不能满足探空火箭的需要。这就促使钱学森做进一步的分析，探讨采用什么样的发动机和燃烧方案可使火箭经济而高效地达到更高的高度。

钱学森在1939年发表在《Journal of Aeronautical Sciences》上的"Flight Analysis of a Sounding Rocket with Special Reference to Propulsion by Successive Impulses"一文（即作者博士学位论文的第四部分），探讨和论证了逐次推进的方案，即采用硝化棉一类的固体火药作为推进剂快速燃烧排气而获得脉冲式推力的方案，可以到达离地面30km的高度，而在这样的高度上就能够进行大气层的结构以及地球大气层以外的物理现象的观测和研究。

1938年5月，美国陆军航空兵司令阿诺德（Hap Arnold）亲临古根海姆实验室对火箭研究表示特别的关心；秋天，阿诺德进一步要求他们研制用火箭助推重型轰炸机起飞的装置，使轰炸机能在太平洋小岛的短跑道上起飞升空，并和冯·卡门签订了第一个合同。一年后，由于火箭研究工作卓有成效，1939年7月陆军航空兵又和他们签订了经费达一万美元的第二个合同。冯·卡门为此制订了GALCIT－1号计划。经过火箭小组的努力，终于研制成功新型的复合推进剂（次氯酸钾＋煤焦油），火箭助推起飞器（英文简称JATO）在1941年8月的试飞中取得了成功。钱学森在这一计划的制订和实践中都做出了重要贡献。时至今日，火箭助推器仍然被用来当作飞机起飞时的备用推力。

冯·卡门、马林纳、钱学森和索莫菲尔德除了研究火箭外，对其他推进方式也很感兴趣。1944年，他们的研究得出结论：无论导弹或航天飞行，最好采用由涡轮式和冲压式两种喷气发动机的组合作为第一级动力装置，以便充分利用大气层中足够的氧气；而火箭装置应该在越出大气层后才开动。这年春天，他们向军方呈交了研制冲压式发动机的建议报告。

1944年，即第二次世界大战结束前一年，阿诺德将军已把目光投向战后的一个很长时期。是年9月，他单独与冯·卡门在纽约

机场尽头的一辆轿车里秘密会晤，他要冯·卡门组织一个科学咨询团，为今后20—50年美国空军的长远发展提供科学研究工作的蓝图。冯·卡门很快组建了这个咨询团，并请钱学森参加这个团的核心组。1945年春，钱学森参观了美国几个有名的实验室，如RCA实验室、NACA（美国国家航空委员会）、JPL（喷气推进实验室）等，评估美国航空研究和发展的水平和趋势。1945年3月，欧洲战场上的德军全面崩溃，阿诺德又向冯·卡门建议，到德国去调查考察他们究竟在航空和火箭的研究和发展方面走得有多远，去查问德国科学家并视察他们的实验室，搜集第一手资料，顺便考察英、法、瑞士、瑞典等欧洲国家的研究情况。4月底，钱学森等随同冯·卡门飞往欧洲。在德国，钱学森查问了德国火箭研究的最高权威冯·布劳恩和研究V-2火箭的著名理论家鲁道夫·赫尔曼等人，视察了美军发现的德国人的秘密实验室和V-2火箭工厂，查阅了德国人有关火箭和空气动力学的秘密研究报告。他们发现德国在火箭和超声速飞机方面的研究已经远远走在前面。今天的超声速飞机已经普遍使用的后掠式机翼，在当时的美国还刚刚开始做预备性的理论分析，而德国早已做了大量风洞试验，1941年，第一架后掠型喷气战斗机投入实战；至于火箭研究，德国的V-2火箭已经在战场上大量使用了。5月间，钱学森写出了一系列调研报告，反映德国人在飞机、火箭、炸弹等多方面的发展状况。6月20日，钱学森结束欧洲之旅，回到华盛顿。

8.《Toward New Horizon》（迈向新高度）——二次大战后美国空军建设远景发展蓝图[2,5]

1945年，以冯·卡门为首的科学咨询团为美国陆军航空兵完成了题为《Toward New Horizon》（迈向新高度）共9卷的带有展望和

规划性的报告，为二次大战结束以后美国空军的现代化建设提供了远景发展蓝图。作为该团核心成员的钱学森为《迈向新高度》提供了他自己的观点和思想。他在1945年5月所写的对德考察的调研报告的基础上，总结了欧洲国家的研究经验，并且结合战时美国的研究情况，特别是他和他的同事们在加州理工学院和喷气推进实验室所做的工作，在《迈向新高度》这一研究报告的第3、4、6、7和8卷以及技术情报附录中，详细地论述了有关高速空气动力学、脉冲式空气喷气发动机、冲压发动机、火箭、超声速箭形翼导弹以及核能作为飞行动力的可能性等方面的研究概貌、存在问题以及发展前景。这份报告为第二次世界大战以后美国代替德国在航空科技的领先地位，以及在20世纪下半叶美国空军称霸世界奠定了重要基础。钱学森对美国航空科学的发展所做的贡献是不可抹杀的；而钱学森这些研究工作也正是为他后来回到祖国发展中国人民自己的航空航天事业所做的充分准备。

这里不妨插叙一幅应用力学家三代同堂意味深长的历史照片，它记载着1945年5月的某一天，赴德考察团到达哥廷根大学，由冯·卡门和钱学森代表战胜国审问战败国科学家普朗特的一幕。这次会面是多么奇特，一个是自由世界的冯·卡门，一个是他的高足，后来返回中国，成为共产党员的革命科学家钱学森，再一个是他昔日的业师，曾为纳粹德国卖力工作的普朗特。境遇是多么不可思议，竟将三代应用力学家分隔开来，天各一方。

9. 加州理工学院的哥根海姆喷气推进中心的创始人

1946年，钱学森接受麻省理工学院聘请，担任副教授；1947年晋升进入该校年轻的正教授的行列。

到了1949年，经冯·卡门与亨利·哥根海姆磋商，哥根海姆基

金会决定在加州理工学院和普林斯顿大学建立两个喷气推进中心(Jet Propulsion Center)。钱学森被任命为加州理工学院喷气推进中心的主任，并且赋予他以美国火箭先驱R. H. Goddard命名的喷气推进教授的荣誉称号。中心有以下三个主要任务：

(1)培训青年工程师和科学家，为将航空技术推向新阶段培养先驱者；

(2)研究喷气推进的先进思想，为新阶段的坚实发展提供基础知识；

(3)促进喷气推进在和平时期的商业和科学方面的应用。

在很大程度上由于钱学森的坚持，加州理工学院喷气推进中心的学科对象是航空工程和机械工程之间的交叉学科，解决喷气推进问题的手段需要机械工程和航空工程两方面的知识和实践。中心设置的课程全面覆盖喷气推进系统的基本原理和飞行器的性能。中心的研究课题则围绕当时火箭和喷气推进飞行器的研究前沿的重大课题，诸如：热应力和高温材料问题；热交换和冷却问题；燃烧稳定性和化学反应的平衡和动力学问题；火箭和喷气推进飞行器的性能问题等。实践证明，许多经过中心培养的人员后来成为美国航空技术研究单位或军事部门的骨干。

10. 工程控制论[2]

钱学森亲身经历了流体力学作为一门技术科学，怎样从空气动力学工程师、水力工程师、气象工程师的工程技术实践中分离出来，并上升到理论又应用和革新实践的过程，特别是他自己从30年代到50年代参与超声速飞机以及火箭和喷气推进飞行器的研制过程中所做的力学研究，深刻理解工程实践—科学理论－工程实践之间的关系是多么重要。在第二次世界大战结束前后的一段

时间里,钱学森在火箭研究中已经发现,无论是最大射程、航向控制、燃烧稳定等问题,都需要解决优化规划和反馈控制的技术和理论的问题。

1948年N. Wiener(维纳)发表了《Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine》(控制论)一书,开创了控制论这样一门新的学科,其对象是研究一个系统的各个不同部分之间的相互作用的定性性质以及整个系统的运动状态。

由于具有从弹道火箭到可控和制导火箭技术的丰富的研究经验,钱学森迅速认识到维纳开创的控制论的重要性,很快便运用控制论的原理解决了一批喷气技术中稳定和制导系统的问题,诸如:火箭喷管的传递函数、远程火箭的自动导航以及火箭发动机燃烧的伺服稳定等问题。钱学森意识到,不仅在火箭技术的领域内,而且在整个工程技术的范围内,几乎到处存在着被控制的系统或被操纵的系统;而且事实上有关的系统控制的技术已经有了多方面的发展,因此很有必要用一种统观全局的方法,来充分了解和发挥上述导航技术和控制技术等新技术的潜在力量,以更广阔的眼界用更系统的方法来观察有关的问题,不仅可以得到解决旧问题的更有效的新方法,并且可以揭示新的以前没有看到过的前景。于是,钱学森提出了一门新的技术科学—工程控制论。作者首先在1953年底在美国加州理工学院开设了"工程控制论"一课,接着于1954年出版了《Engineering Cybernetics》(《工程控制论》)一书。这是一门技术科学,它和控制论的不同之处在于,工程控制论旨在讨论和研究,在工程中实现自动控制与自动调节的理论以及自动控制与调节系统的结构原理。该书的出版在世界科技界引起广泛注意,随即被译成多种文字发行。

11、物理力学[2]

钱学森在努力探索超声速飞机以及火箭和喷气推进飞行器的性能和原理的过程中，特别是在他研究火箭发动机内部的燃烧过程时，需要用到介质和材料在高速和高温状态下的成分和性能。可是，手册上查不到有关的数据，用实验的办法也得不到这些数据。钱学森应用统计力学、光谱学和化学动力学，研究了气体和液体的平衡和输运性质以及气体的热辐射性质等，从而开辟了一条崭新的通过技术科学解决工程技术问题的途径。

第二次世界大战中原子弹的使用给社会造成巨大的冲击。钱学森由此对充分利用原子能这一新能源发生了极大兴趣，他在1949年写出了第一篇论述核动力火箭的论文，被认为是这一领域的一篇经典名著。在涉及核反应的工程技术问题中，需要知道介质和材料在极高的压力和温度状态下的性能和行为，这里同样存在上述缺乏数据的困难。

钱学森敏锐地意识到，在火箭技术、核能技术等重要领域，工程师们迫切需要高温、高压、超高温、超高压及放射线作用等条件下介质和材料的性质，诸如本构关系、输运性质及化学反应的平衡和动力学的数据等。如果完全依靠实验，会遇到很大困难。但是，钱学森考虑到近代物理和化学的发展，对物质在原子核以外的微观结构已有相当的了解，有条件来建立一门新的技术科学，即物理力学。它的目的是想通过对物质的微观分析，把有关物质宏观性质的实验数据加以总结和整理，找出规律，得到需要的数据，而且可以进一步利用这些规律预见新物质材料的宏观性质，为发展新材料和新工艺服务。

1953年，钱学森在《Journal of American Rocket Society》上发表了"Physical Mechanics-A New Field in Engineering Science"一文，正式提

出了物理力学这门新的技术科学。1956年在他创建的中国科学院力学研究所里成立了物理力学研究组，他亲自下工夫培养第一批物理力学的研究人员。1962年他编著的《物理力学讲义》正式出版，系统介绍物理力学的基本概念和研究方法，也介绍了他自己所做的有代表性的工作。1958年，中国科技大学成立，由钱学森主持，设置了物理力学专业，1963—1965年连续毕业了三届学生，许多人被输送到力学研究所，成为该所物理力学研究室的生力军。

从钱学森倡导物理力学的研究到今天已有半个世纪了。自然科学领域的方方面面都已认识到，研究复杂的科学和技术问题均需要走宏观与微观相结合的道路。回想当年，由钱学森把S. S. Penner(潘纳)请到加州理工学院的喷气推进中心来合作研究，用光谱方法探测喷气发动机的燃烧过程，开展了包括对光谱吸收系数、发射率和辐射输运问题的研究。到了1961年，潘纳创办了一个新的学术期刊《Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer》，这标志着，由钱学森所提倡的"定量光谱学"成为又一门新学科。可见，在美国，物理力学早已开花结果。

但是，非常可惜的是，倒反而在钱学森亲自创建的中国科学院力学研究所，亲手培植的物理力学研究室却在1993年被解散了。钱学森得知这一消息后，于1993年8月9日给崔季平写信说："……可以把院内各所有关物理力学的力量集中在一个新单位，创新牌子。"对于他的建议，仍然没有得到任何响应。

如今，钱学森所倡导的物理力学这门宏观和微观相结的学科正在更广泛的范围内蓬勃发展。

1.3 对中国发展技术科学的倡导和贡献[2,3]

从上面介绍的钱学森回国前在美国的一段研究经历中，我们可以看到，钱学森的科学工作早已越出力学这个领域，而把力学与其他学科结合起来，开创出像稀薄气体力学、喷气推进技术、工程控制论、物理力学等新的技术科学，并提倡核动力工程等其他技术科学。下面想谈谈钱学森对中国发展技术科学所做出的贡献。

早在1947年夏天，钱学森回国给浙江大学、交通大学和清华大学三所著名大学做“工程和工程科学”的讲演，目的是宣传工程科学的重要性，反映出他急盼祖国繁荣昌盛的赤子之心。讲演回顾了20世纪上半叶科学技术的研究愈发成为决定国家和国际事务中的关键这一震撼人心的历史事实，其中最富戏剧性的实例乃是第二次世界大战中雷达和原子弹的研制和应用，对世界民主力量的伟大胜利所作出的卓越贡献。钱学森意识到：纯科学的发现与工业应用之间的距离已经很短，而留长发的科学家和留短发的工程师之间的差别也非常之小，他们之间紧密合作的实际需要产生了一类新型人才，那就是工程科学家，他们在纯科学与工程之间架起桥梁，运用基础科学知识解决工程问题。钱学森在讲演中系统地介绍了工程科学的内涵、工程科学家的任务以及作为一名工程科学家需要接受什么样的教育和训练。

1949年祖国解放，钱学森历尽美国政府的阻挠和迫害，终于在1955年回到祖国。从此以后，钱学森积极提倡并指导工程科学的研究。在回国的第二个月里，就受命创建中国科学院力学研究所。他当时的建所模式不只限于力学，还包括了自动控制、工程经济、运筹学、物理力学等新学科，实际上是按照工程科学的框架模

式来建所的。1956年起，钱学森和钱伟长一起创办了三期工程力学研究班；1958年钱学森和郭沫若、严济慈、华罗庚等一起组建了中国科技大学，开始大批培养工程科学家的工作。1957年钱学森在《科学通报》上发表了题为“论技术科学”[3]的论文，按国内的习惯将“工程科学”改名为“技术科学”。论文进一步全面地论述了技术科学的范围、方法论以及人才培养和科学技术工作的组织等各个方面。他认为，虽然自然科学是工程技术的基础，但它又不能包括工程技术中的规律。要把自然科学的理论应用到工程技术上去，并不是一个简单的推演工作，应该做科学理论和工程技术的综合工作。因此，有科学基础的工程理论既不是自然科学也不是工程技术，而是两部分有机组织的总和，这就是人类知识的一个新部门：技术科学。钱学森这里指的自然科学是用来包括数学、物理、化学、以及生物学、地质学等科学。在谈到技术科学的研究方法时，钱学森强调技术科学研究离不开数学，但提醒青年注意，数学并不是技术科学的关键。真正的关键是对所研究问题的认识，要认识和分清现象的主要因素和次要因素。首先要收集有关问题的资料，特别是实验室和现场的观测数据，在分析资料的过程中充分依靠自然科学的规律，将它当作摸索道路的指南针，经过多次反复的理论和实验交错认识的过程，找出解决问题的途径。在问题认识清楚的基础上，就可以建立模型，模型不等于现象本身，却吸收了一切主要因素，略去了次要因素，而能反映现象的内在机理。下一步乃是由模型演算得到具体的数据结果，最后还需要将理论结果和事实相对照，经受考验。在关于研究方法的一节中，钱学森预见到电子计算机的发展前景及其应用威力，特别说明了电子计算机将会对技术科学的研究方法带来重要的变化。今天，人们已经普遍使用了“分析—实验—数值实验或分析”三位一体的研究方

法，这说明半个世纪前钱学森的上述预见确实是高瞻远瞩。

如果说在研究方法上与自然科学相比有什么不同的话，那么技术科学包含更多的经验成分，通过对经验的科学分析和精练，创造出工程技术的理论，从而开创新技术，并领导工程技术前进。这篇论文还开列出一些新的发展方向，它们是：化学流体力学、物理力学、电磁流体力学、流变学、土和岩石力学、核反应堆理论、工程控制论、计算技术、工程光谱学、运用学（即后来所称谓的运筹学）等。

半个世纪以来的实践证明，这些新的技术科学确实从形成到成长而且飞速地发展壮大，在国民经济和国防建设中发挥着重大的作用。两弹一星的研制成功便是突出的典型表现。这方面的科技工作的性质属于技术科学。虽说当时已经有了基本原理，别人也有成功的先例，但是我们是在外界严密封锁下，从最基本的原理和技术出发，依靠自己的探索独立做成功的。结果是长了中国人的志气，扬了国威。

但是不能不看到，当前技术科学的研究形势很不能令人满意，科学界、政府和民众对技术科学的性质、作用、重要性并没有充分的认识。一个极端是按基础科学的标准来指导和要求技术科学；另一个极端是把技术科学研究统统当成生产问题，干脆把研究工作撂在一旁。其严重后果是不断引进，而谈不上不断创新，又怎能做到科教兴国。今天，我们重温钱学森先生关于技术科学的论述是何等的必要。

1.4 发扬钱学森先生的科学思想和治学精神

从前面所介绍的钱学森先生的科学实践活动中可以看出：他

不但是一位造诣广博而精深的应用力学家和技术科学家，而且是一位具有远见卓识的战略科学家。他的深远的科学思想为我们这个时代的科学事业提供了丰硕的宝藏。我们不仅应当珍惜它，更应该深入学习它和充分应用它，建设起一支强大的科技队伍，在新世纪里把祖国建成繁荣富强的科技大国。

归纳起来，我们应当学习和发扬：

1. 他一生进行科学研究的超前意识和务实作风。这里引用钱学森在纪念和赞扬他的挚友郭永怀的一段话："一方面是精深的理论，一方面是火热的斗争，是冷与热的结合，是理论与实践的结合。这里没有胆小鬼的藏身处，也没有自私者的活动地；这里需要的是真才实学和献身精神。"[6]这也十分恰当地反映了他本人的敬业精神和高尚情操。

2. 他所继承和发扬力学大师普朗特—冯·卡门的应用力学学派的优良传统。概括地说，应用力学家必须着眼于工程技术中带有普遍性的理论研究对象，通过艰苦细致的研究工作，提出新的科学创见，从而改进工程技术，形成新技术，产生新产业。

3. 半个世纪以来，他始终如一地倡导的研究近代力学的方向和道路，即：

(1)认识复杂现象要走宏观和微观相结合的道路；

(2)抓紧开拓和发展力学与其他学科相互渗透、结合的最活跃的交叉学科领域；

(3)充分利用电子计算机的无穷潜力，并与实验和理论分析有机地结合起来。

4. 为了提高我国的综合实力，必须大力开展技术科学的研究。技术科学是自然科学和工程技术之间的桥梁，它把工程技术和其他重要应用作为科学研究的对象，研究的目的是改造世界。

而且，技术科学同基础科学一样，也是人类认识世界和改造世界过程中认识事物客观规律性的一个独立的认识源泉。

5. 他坚持科技以人为本，始终重视技术科学家的培养。他所强调的理工结合的方针应当在我国高等院校中刻不容缓地得到贯彻和落实。

致谢．李佩教授、郑哲敏教授、朱兆祥教授和朱照宣教授对本章的撰写提出过很好的意见，作者在此表示感谢。

参 考 文 献

1 王寿云编：《钱学森文集》，科学出版社，1991。

2 郑哲敏、谈庆明、涂元季、崔季平编，《钱学森手稿》，山西教育出版社，2000．

3 钱学森：《论技术科学》，《科学通报》，1957(2)，第97—104页。

4 Theodore von Kármán: Aerodynamics, Ithaca, New York, Cornell University Press, 1952。

5 冯·卡门、李·爱特生著，曹开成译，《冯·卡门——航空与航天时代的科学奇才》，上海科学技术出版社，1991。

6 钱学森：《写在〈郭永怀文集〉的后面》，见中国力学会与中国科学院力学研究所编《郭永怀文集》第一版，科学出版社，1982，第331—332页。

第2章　钱学森与中国航天科技

中国的航天事业，在党中央、国务院和中央军委的英明决策、正确领导下，党和国家三代领导人亲切关怀，全国各有关部门大力协同、支持下，经过航天人45年的艰苦奋斗历程，已经从仿制导弹、研制探空火箭起步：

——成功地研制了各类战略、战术导弹，装备了海、陆、空军和第二炮兵，使我国成为世界上仅有的几个具有洲际进攻性战略导弹武器的国家之一，明显地增强了我国的国防实力，奠定了我国大国地位的基础；

——研制开发了一系列具有近地轨道、太阳同步轨道与地球同步轨道应用卫星发射能力的长征型号运载火箭，并进入了国际应用卫星发射服务市场；

——成功地开发了一系列具有科学研究、地球资源探测、通信与广播、导航、气象观测与地球灾害观测、空间实验与军事应用等实用价值的应用卫星和载人飞船，为国民经济与国防建设做出了巨大贡献，使我国跻身于世界航天大国之列。

在回顾我国导弹与航天事业激动人心的发展历程、展望现代工程科学技术发展壮观前景的时候，我们难以忘怀钱学森院士在周恩来总理、聂荣臻元帅的领导下，带领航天人所经历的开创我国导弹与航天事业的不平凡历程和所创建的辉煌业绩。在钱老90寿辰到来之时，我们共同回忆钱老为创建和发展我国导弹与航天

事业，运用他多学科的渊博知识，呕心沥血地进行导弹与航天技术发展宏观战略谋划；为解决导弹技术与航天事业发展遇到的一个个难题，无私地奉献他的智慧和才华；为把庞大的导弹、运载火箭与航天技术研制体系纳入到一个科学、有序的运行轨道上，创新建立系统工程理论，付诸实践，并培养、提携了一代中、青年科技人才的峥嵘岁月，使我们倍感亲切。

从60年代中到80年代末，本人长时间在运载火箭研究院总体设计部从事多个型号导弹与运载火箭总体设计工作，特别是自1968年4月起，在负责我国第一代洲际运载火箭总体设计的过程中，有机会多次代表专题组、总体部向钱老汇报技术工作和交谈，在工作上得到钱老的指导和教诲，受益匪浅。1991年10月，国务院、中央军委授予钱老“国家杰出贡献科学家”荣誉称号、“一级英雄模范奖章”，并号召全国科技人员向钱老学习。响应党中央的号召，根据个人的亲身经历和见闻，以“赵箭”和“赵健”的笔名，写了《钱老的风范》一文，发表在《火箭兵报》，并摘录发表在“科技日报”上，从一个基层科技工作者的视角，阐述了对钱老科技活动的初步认识。

2.1　中国航天事业的开创者

1955年10月，在周总理的直接关怀下，钱学森冲破美国政府设置的重重障碍，回到了祖国，当年11月就由中央安排，赴东北考察。在哈尔滨军事工程学院受到专程赶到哈尔滨的陈赓大将的接见。这位在中国革命的历史上久经沙场、屡立战功，曾任中国人民志愿军副司令员，在朝鲜战场上与美国军队进行过殊死较量，时任中国人民解放军主管国防科技的副总参谋长[1]、我国第一所军事工

程学院院长的陈大将，正在全身心地思考着如何能够使中国人民解放军尽早实现现代化的战略课题。二位此时见面，在当时的中国大地上，响起一段至今仍然让我们回味无穷的对话[2,3]：

陈赓大将急切提出他已经考虑了很久的问题："钱先生，您看我们能不能自己造出火箭、导弹来？"

钱学森几乎是毫不思索，直率、胸有成竹地回答："有什么不能的，外国人能造出来，我们中国同样能造出来，我们又不比他们矮一截。"

陈赓大将高兴地说："好！很好！我就要你这句话。"

当时的中国，还在帝国主义国家的封锁、围困之中，如果能够发展自己的导弹、火箭事业，对国家的安危和提高国际声望太重要了，这是一句多么重要、多么千金难买的豪言壮语啊！因为它是出自一位在美国现代导弹技术开创阶段，在重要的岗位上做出过重要贡献的世界知名科学家，所以，它有不比寻常、沉甸甸的分量。它不仅展现了一位大科学家、顶天立地的中国人的超人胆识，也充分表明了钱老拳拳报国之心，对国家安全的高度责任感。就是这句话推动党中央、毛主席做出了高瞻远瞩的战略决策，启动了中国的导弹技术与航天事业，也使钱老重任在肩。在这历史性的对话之后，开始了钱学森为创建我国导弹与航天事业发挥聪明才智和艰苦攀登的光辉历程[4,5]：

1955.12.27 按照彭德怀元帅的指示，当时负责部队装备建设的万毅将军代表彭德怀元帅详细地听取了钱学森关于发展我国导弹、火箭事业的意见。

1956.2.17 钱学森向党中央、国务院提交了《建立我国国防航空工业的意见书》，明确提出了创建我国导弹与火箭事业的组织措施、技术设想和工作安排的

建议。

1956.4.13 正式成立了以聂荣臻元帅为主任、钱学森等为委员的中国航空工业委员会。

1956.5.10 聂荣臻元帅提出了"建立我国导弹研究工作的初步意见",钱学森授命组建我国第一个火箭、导弹研究院。

1956.10.8 中央决定成立国防部五局和国防部五院,并由周总理任命钟夫翔为国防部五局局长,钱学森为国防部五局副局长、总工程师,兼任国防部五院第一任院长。

1957.3.18 钱学森提出国防部五院着手研制地地导弹、地空导弹等3项任务,并组织对苏提供的P-1导弹进行反设计工作,正式启动了我国的导弹事业。

1957.11.16 周总理任命钱学森为国防部五院一分院(现运载火箭研究院)第一任院长,直接负责我国弹道式导弹的研制工作

从此开始了钱学森领导、开创我国导弹与运载火箭事业的奋斗历程。在评价钱老开创我国导弹、火箭技术事业过程中的贡献时,聂帅由衷地指出[6]:"从培训干部做起,克服重重困难,终于用4年时间,于1960年冬成功地发射了我国制造的第一枚中近程导弹。接着又用4年时间,成功地发射了我们自行研制的中近程导弹。然后又用2年时间,于1966年我们有了自己的中近程导弹原子弹。短短10年里,我国导弹核武器得到飞速发展,国防力量有了很大的加强,从而震惊中外,使我国跻身于世界强国之列。这是与学森同志出色工作分不开的。""他理应获得这崇高荣誉(指国务院、中央军委授予钱老'国家杰出贡献科学家'称号、一级英雄模范

奖章;国际技术与技术交流大会授予钱老'世界级科学与工程名人'、'国际理工研究所名誉成员'的称号、'小罗克韦尔奖章'),他是受之无愧的"。

在开创我国导弹与火箭研制事业的同时,1958年,中科院成立了以钱学森为组长的领导小组,负责筹建人造卫星、运载火箭及卫星探测仪器的研究、设计机构,并在钱学森的倡导、运筹、组织下,开展了我国一系列航天技术早期发展研究工作[4,5]:

1958.2	中国科学院成立以钱学森为组长的领导小组,负责筹建我国人造卫星、运载火箭、卫星勘测仪器等的设计、协调与研究机构。在国防部五院主持制定《喷气与火箭技术十年(1958—1967)发展规划纲要》。
1961.6	在钱学森和赵九章倡议下,中科院举办了12期星际航行研讨会,钱学森做了"今天苏联及美国星际航行火箭动力展望"的报告。
1962	中科院成立了以竺可桢、裴丽生、钱学森与赵九章领导的星际航行委员会,负责制定规划、安排预先研究工作。
1965.1.8	钱学森正式向国家提出"早日制定我国人造卫星研究计划,并列入国家计划"的报告。
1968.2.20	正式任命钱学森兼任中国空间研究院(后改为七机部五院)第一任院长,直接负责我国航天技术的发展工作。

从此,开始了钱学森开创我国航天技术事业的辉煌历程。大家都知道,钱学森回国前已经是世界知名的力学与火箭技术专家[4,5],并且早在1949年他就提出了"火箭旅客飞机"的概念;1953

年研究了星际航行的现实可行性；1954年发表了“工程控制论”，确立了他在世界工程控制学科领域的地位；1962年又发表了“星际航行概论”的专著，更进一步阐述了“航天飞机”的技术设想……。

因此，他在我国导弹与航天技术开创阶段的作用是无人可以取代的。正如总装备部涂元季研究员指出的[7]：“没有他的积极建议与推动，中国的火箭导弹和航天事业的开拓与创建，至少要往后推迟若干年”。这是完全符合实际、十分中肯的。

2.2 中国航天事业发展的宏观谋划战略家

1956年2月17日，在周总理的鼓励下，钱学森怀着对新中国国防事业的强烈责任感，给中央写了关于《建立我国国防航空工业的意见书》[4,5]。《意见书》指出：“健全的航空工业，除了制造工厂之外，还应该有一个强大的为设计服务的研究及试验单位，应该有一个做长远及基本研究的单位。自然，这几个部门应该有一个统一的领导机构，做全面规划及安排的工作。”《意见书》还提出了我国导弹、火箭事业初期发展的组织方案、发展计划和具体实施步骤，并且提出了包括任新民、罗沛霖、梁守磐、胡海昌、庄逢甘、罗时钧等21人的专家名单。钱学森的《意见书》，实际上就是中国发展导弹、火箭与航天事业的宣言和行动纲领，引起了党中央、毛主席的高度重视。1956年3月14日，由周总理亲自主持会议研究，决定由周总理、聂帅和钱学森等筹备组建我国导弹科学技术研究领导机构——航空工业委员会，并且按照钱学森的建议，下设科研机构、设计机构和生产机构，把我国的导弹、火箭技术发展宏观战略谋划付诸实施。

1956年春，周总理组织数百名科学家、技术专家制定了“56—67年科学技术发展远景规划纲要”，确定了57项重要科技研究课题，由钱学森主持[3]拟订了“喷气和火箭技术的建立”的规划[3,4,5]，帮助钱学森完成这一规划的还有王弼、沈元、任新民等专家。钱学森在规划说明中指出：“喷气和火箭技术是现代国防事业的两个主要方面：一方面是喷气式飞机，一方面是导弹。没有这两种技术，就没有现代航空，就没有现代国防。建立了喷气和导弹技术，民用航空方面的科学技术问题也就不难解决。”；“本任务的预期结果是建立并发展喷气和火箭技术，以便在12年内使我国喷气和火箭技术走上独立发展的道路，并接近世界的科学技术水平，以满足国防的需要。”

根据钱学森的《意见书》和他主持制定的“喷气和火箭技术的建立”的规划，正式启动了我国的导弹与火箭事业：

1958.1.9　钱学森主持制定国防部五院第二个五年计划期间的研制规划。

1964年春　在周总理的直接领导和关怀下，钱学森负责组织了我国著名的战略导弹武器发展大讨论，制定了我国地地弹道导弹发展的“八年四弹”规划，得到中央批准，并组织实施。

1965.1.8　钱学森正式提出“早日制定我国人造卫星研究计划，并列入国家计划”的报告[4,5]，明确指出“人造卫星有以下几种明确用途：测地、通讯及广播卫星、预警卫星、气象卫星、导航卫星、侦察卫星等，重量更大的载人卫星在国际上的应用，现在虽然还不十分明确，也得有所准备。……这些工作是复杂艰巨的，必须及早开展有关研究、研制工作，到时

才能拿出东西”。为此，建议国家早日制定我国人造卫星研究计划，并列人国家任务，促进了这项重大国防科学技术任务的顺利实施。

1968.5.30 作为中国空间研究院院长，钱学森直接领导编制了“我国人造卫星、宇宙飞船十年规划(草案)”[4,5]。

1974.9 钱学森主持国防科委会议，邀请海军领导和有关部委领导听取了七机部一院“关于向太平洋海域发射我国远程运载火箭的试验方案和请求开展我国首次远洋考察的报告”，当即部署国防科委机关向中央起草报告，着手开展我国远洋考察工作，正式启动了我国首批太平洋海域远程运载火箭试验的准备工作，并且亲自承担起运筹、指导震惊中外的我国首批太平洋火箭试验的任务……。

在我国导弹、火箭与航天事业发展的相当长时间里，在对我国导弹与航天事业发展进行宏观发展谋划的过程中，钱学森不仅及时地提出了一系列具有远见卓识的宏观谋划意见，而且早在1956年，在国防部五院初创时期，就创建了我国第一个军事运筹学的研究机构——国防部五院作战研究处，开辟了运筹学面向我国武器装备规划论证的发展方向……。现在回过头来研究这一段历史，我们可以清晰地看到一位高瞻远瞩的航天科技发展宏观谋划战略家思想的前瞻性。为了我国航天科技的发展，钱学森付出了一位大科学家、航天科技事业发展的宏观谋划战略家的辛勤劳动和聪明才智，做出了不可磨灭的重大贡献。

面对复杂的现代航天工程系统的开发管理，首要的课题是导弹与航天系统的宏观发展谋划问题[8](参见图2—1)。复杂的航天科技事业宏观发展谋划，涉及时间跨度较长的科技发展预测、工业

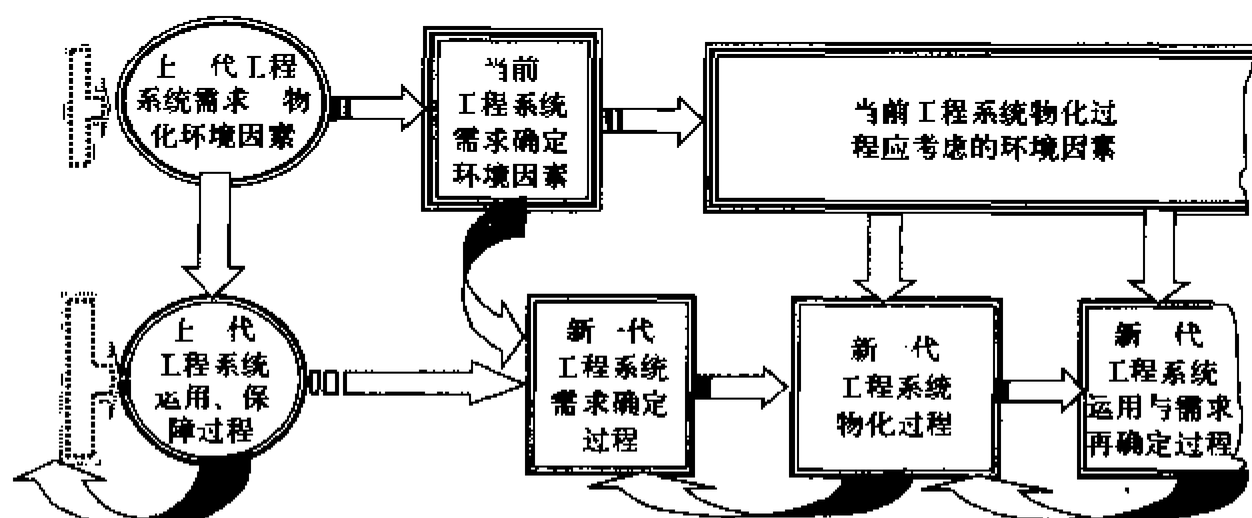


图 2—1 现代复杂工程系统开发过程示意图

发达国家航天科技发展形势分析，我国科学技术与工业生产能力、发展潜力分析与预测，以及其他诸多相关环境因素的分析、综合与预测等复杂问题，是难度很大的研究课题。总结几十年的经验教训，世界各国都是组织国内最高水平的科学家、工程师担此重任[9]。也只有在科学技术领域中站得很高、具有高度责任感的人，才能做好这样的宏观发展战略谋划工作、钱老就是在我国航天科技开创和大发展时期"登高望远"的人。可以这样说：钱学森是我国导弹、火箭与航天技术领域的首席科学家，航天技术发展的宏观谋划战略家，航天技术战略决策运筹与管理的主要组织者。他在我国导弹、火箭与航天事业发展相当长的时期内是站在宏观战略谋划、重大技术决策管理层次上的帅才，我们应从我国导弹与航天事业宏观谋划管理、具有远见卓识技术决策的角度，来全面评价钱老对我国航天科技事业发展做出的卓越贡献。

2.3 中国重大航天技术开发的指导、决策者

在周总理、聂帅的直接领导下，在我国航天事业的起步阶段，就逐步明确地建立了技术决策由科学家负责的规矩。当然，形成这一决策机制，也不是一帆风顺的，它渗透着周总理、聂帅等人的心血和不懈的努力。但是，由于周总理、聂荣臻元帅身体力行，聂帅对当时国防部五院的领导明确提出：对技术决策，你们，包括我在内，都不要去干预。这是搞导弹，不是打仗，技术问题要让科学家去决策，我们要保证科学家决策的实施。这就是在我国航天事业开创和大发展时期形成的著名的研制工作“两条指挥线”的思想基础。在周总理和聂帅亲自过问、身体力行而真正形成的“尊重知识、尊重人才”的特定环境下，钱学森和一批确有真才实学的科学家才真正有了用武之地，在我国航天事业开创和大发展时期真正承担起了对航天发展重大技术问题运筹帷幄、果敢决策的重任。1960年春，在我国导弹与火箭研制刚刚起步的关键时刻，苏联赫鲁晓夫集团单方面撕毁了中苏技术合作协定，撤退了全部专家，使我国导弹与火箭事业发展面临新的重大抉择。当时曾提出两种地地导弹发展途径：其一是集中力量研制射程较大，采用液氧/煤油做推进剂的全新型号——东风三号导弹；其二是在“1059”导弹仿制的基础上，利用“1059”导弹的技术基础和工艺装备，争取时间，先研制国防上急需的东风二号导弹，并为我国导弹与火箭技术进一步发展创造技术条件。在钱学森的果断支持下，报请聂老总和周总理下达了研制东风二号导弹的指令，为我国自行研制导弹和火箭技术做出了正确的技术决策，开启了我国弹道导弹研制的正确道路。

1962年3月，由于缺乏研制经验，我们在发射自己独立研制的第一种东风二号地地弹道式导弹时，由于控制系统设计忽视了弹体弹性振动的影响而失败了。在钱学森的指导下，引进了“工程控制论”的设计思路，严格按照研制程序办事，加强了总体设计协调和地面试验，顺利地进行了改进设计，仅用了一年多时间，就再次组织发射，取得成功，并且连续发射成功。但是，东风二号导弹，是在苏联“P-1”导弹基础上研制的，很多分系统都继承了“P-1”导弹的设计，某些分系统设计并不合理。比如控制火箭发动机推力的分系统有一个大减压器，结构比较复杂，质量又大，生产成品率也比较低，而且在使用过程中故障率高，影响导弹的飞行可靠性。当时我们总体部的几位同志认为：如果不改进这一设计，今后势必影响部队的作战运用。经过多次研究后，提出了一个很简单的解决方案，并且经过发动机地面试车证明是可行的。为此，我们要求装弹参加飞行试验，但是，在研究院讨论改进方案参加飞行试验的问题上发生了意见分歧，被搁置起来。没有办法，我们只好去找钱老，他亲自到总体设计部听取了汇报。当他听完汇报后，以他渊博的学识，丰富的工程经验，敢作敢当的作风，当时就明确表态：“这一解决方案自然是合理的、可行的，可以上弹参加飞行试验。”由于钱老的介入，及时作出了正确的技术决策，迅速地解决了拖了很长时间的争论，通过飞行试验取得了成功，改进了火箭设计，提高了导弹的飞行可靠性。

1964年10月16日，我国进行了首次原子弹试验，取得成功。根据对国际局势的分析，1965年春，党中央、国务院提出在1966年内组织进行“两弹结合试验”的要求。这是一次史无前例的科学试验，关系十分重大，国防科委立即组织二机部、七机部的专家进行深入地论证。当时有一个十分棘手的问题，就是导弹弹头是按照

装TNT炸药设计的，现在装核装置，弹头空间十分紧张，需要改变弹头的外形设计。但是，只有一年的周期，时间来不及，给科技人员出了一个难题。我们总体部的同志经过反复研究，认为只能在不改变弹头外形的条件下，寻求解决难题的技术方案。通过精心设计和用实物模型进行反复试装，终于找出了一个核装置与导弹弹头壳体只有10毫米间隙的安装方案。但是，在导弹恶劣的飞行环境下，考虑到导弹飞行的动力学特性，10毫米间隙是不是可行的技术方案，需要进行高层的技术决策。当钱学森听取了二机部、七机部科研人员的汇报，笑容可掬地与科研人员讨论了一系列有关问题之后，钱学森以他渊博的力学、火箭总体知识和工程科学研究与实践经验，果断地做出了同意总体部技术方案的决策，并协助聂老总在1966年10月27日组织实施了我国，也是世界上首次导弹核武器试验，它标志着我国已经有了用于自卫的导弹核武器，震惊了全世界。

在研制我国第一颗人造卫星的运载火箭过程中，遇到一系列技术难题，其中有一个运载火箭滑行段推进剂晃动问题。根据半实物仿真实验，滑行段推进剂出现幅值达几十米的晃动，成为研制过程中的一个技术关键。钱学森亲临实验现场，在听取了各方面的汇报后，他仔细分析实验模型和实验结果，以他渊博的知识和智慧，很快对实验中出现的幅值达几十米的晃动问题做出了科学的判断。钱学森指出：这一现象是在近于失重的状态下出现的，原来的晃动模型已经不成立了。实际上，此时流体已经呈粉末状态，晃动力很小，不会影响正常飞行[4,5]。长征一号运载火箭飞行试验证实钱学森的判断是完全正确的，在钱学森的指导下顺利地排除了我国第一颗人造卫星研制过程中的拦路虎。

1974年9月，由我代表当时的七机部总体部向总部领导汇报

我国首批太平洋火箭试验方案和有关问题，钱学森边听边提出问题与我们讨论。他一边指出我国首批太平洋火箭试验是建国以来最大规模的技术科学试验，对我国导弹与火箭研制具有重大意义……，以此来统一我们研究院争持不下的两种不同意见。一边又十分明确地指出我国首批太平洋火箭试验要解决好几个技术问题。当时钱学森明确地要求我们："我国首批太平洋火箭试验，一定要比美苏初期试验水平高，第一，公告宣布的试验禁区要比他们小；第二，试验禁区封锁时间要比他们短。"[10] 在进行技术决策时，钱学森在充分听取了各方面的意见后，总是一针见血，毫不含糊。他的这一意见成为我们进一步落实我国首批太平洋火箭试验技术工作的指南。我们连续奋战了五个多年头，终于制定了切实可行的试验方案，80年5月9日，在人民日报头版头条正式宣布了这一震惊世界，但是，我们仍然留有充分余量的公告禁区[11]（参见图2—2）。

在洲际导弹的研制过程中，我们遇到很多技术难题，有些课题的研究范围远远超出一两个研究所，甚至一两个研究院的工作范围。比如洲际导弹的弹头防热设计与试验鉴定问题、导弹命中精度分析与评定问题等，都是由钱学森亲自组织跨部门的任务协同组织来攻关的。钱学森以他渊博的学识、在科学技术领域的崇高威望，能够组织起包括中科院有关研究所、国防科工委测量通信总体所、导弹试验基地和航天系统所有相关研究机构来共同攻关。在这些关键性课题的攻关过程中，钱学森发挥着组织攻关、技术指导和技术决策的重要作用，他的作用在当时是无人能够取代的。因此，1985年，钱老无可争辩地以第一获奖人的资格与屠守锷、姚桐彬、郝复俭、梁思礼、庄逢甘和李绪鄂等老专家一起获得了我国战略导弹技术发展的重大贡献奖—国家科技进步特等奖[4,5]。

钱老一生中已经发表了七部专著，500余篇学术论文，在应用

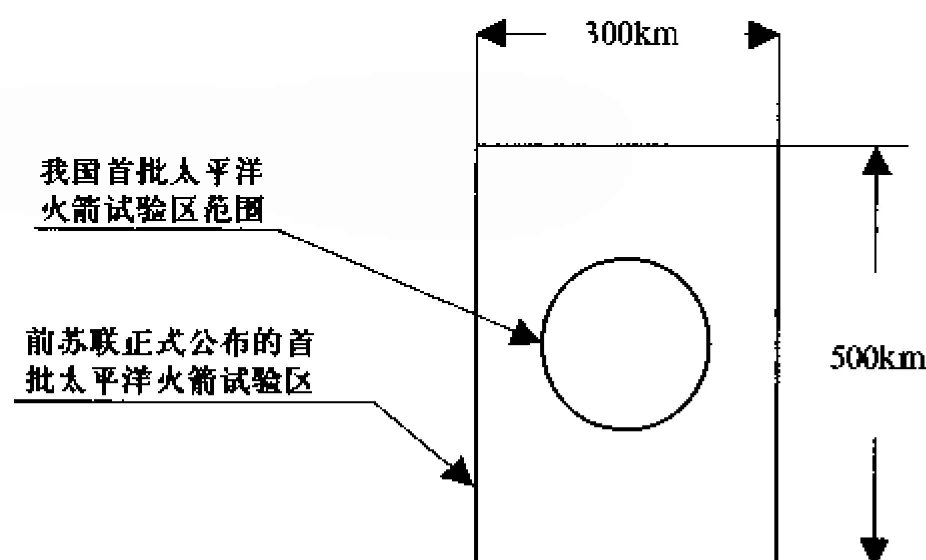
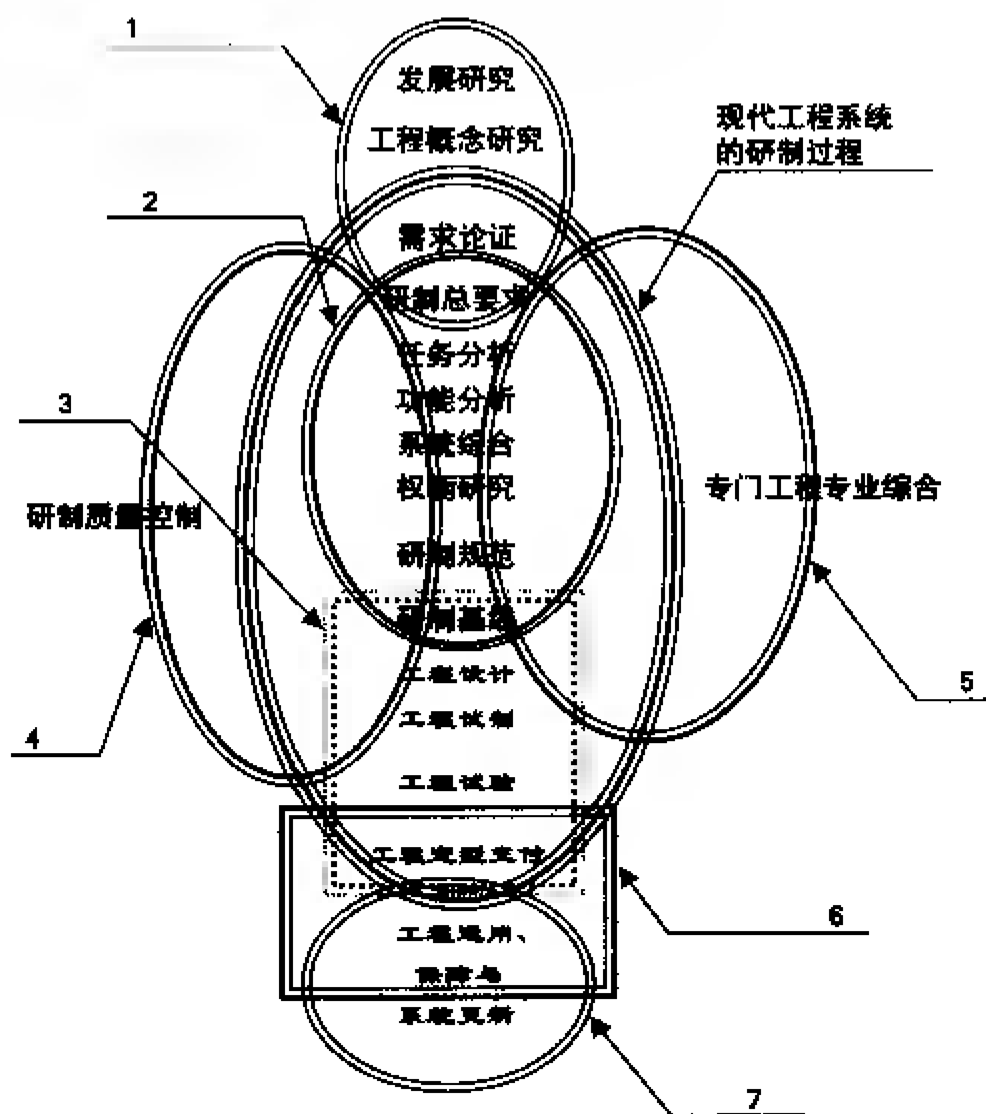


图2—2 我国与前苏联首批太平洋火箭试验区对比

力学、喷气推进与航天技术、工程控制论、物理力学、系统工程、思维科学、系统科学、现代科学技术体系和马克思主义哲学等[4,5]方面都做出了重要贡献。钱学森以他丰富的工程科学研究与实践经验，在我国航天科学技术发展的进程中，总是站在技术决策的顶层，及时地提出一系列方向性的指导意见。70年代后期，他指导国防科委情报所及时地编辑了一系列系统工程文集和国外系统工程应用案例，极大地开阔了我们的眼界，使我们取得了若干重大科研成果。80年代，在他退出国防科工委领导岗位后，他仍然站在航天科技发展的顶层，关心我国航天科技的发展，指导国防科工委情报所的情报人员编辑出版了一系列火箭技术最新进展的专题资料。谈到这些资料时，长征三号运载火箭总设计师谢光选院士深有感触地说："当时按照钱老的要求，国防科工委情报所编辑出版

了好几本火箭技术最新进展的专题资料，对我们解决长征三号运载火箭二次启动和滑行段动力学等问题起了十分重要的作用……"

现代工程科学技术的发展面对多学科、多工程专业的综合与信息一体化问题[8]（参见图2-3）。现代复杂工程系统的开发已经进入了以综合集成为主要创新手段的新时代，尽管单项技术的突破仍然对现代工程开发发挥着重要的支撑作用，但是，重大、复杂现代工程系统的开发与可持续发展，在更大的程度上依赖于这一工程领域的帅才和作为工程运筹与开发总参谋部的新型团队——总体设计部，通过组织跨学科、跨专业，甚至跨部门的任务协同组织进行综合集成才能够完成。换言之，人类发展到今天，任何一项现代大型复杂工程，已经不再是一项纯粹的工程技术问题，而是一项必须与国家和世界的科技进步、经济发展、资源利用和环境兼容，甚至军事、政治需求统筹考虑，从整体上才能够解决的系统工程问题。因此，对技术决策者提出了更高的要求，他们不仅需要具有所从事工程多学科领域的系统知识，丰富的科学研究与工程经验，而且应当具有辩证唯物主义的世界观与方法论，还应当具有高尚的人品和良好的工作作风[8]。在我国航天科技开创和大发展时期，钱学森把他多学科的研究成果、经验和智慧都无私地奉献给了我国的导弹与航天事业，以他科学家的豁达和技术民主作风，对推进我国导弹与航天技术发展做出了令人信服的卓越贡献。因此，国外称钱老为中国"火箭之王"、"航天之父"，我们称钱老为中国导弹与航天技术的启蒙者、开拓者和重大技术决策者，他是当之无愧的。



(1)宏观谋划过程;(2)总体设计、运筹过程;(3)传统工程研制过程;
(4)工程整体性能扩展过程;(5)研制全过程质量、风险管理过程;
(6)研制成果转化过程;(7)工程运用与需求再确定过程

1 发展研究形成的研制指南	2 3 4 系统研制质量控制的主要指导性文书	5. 专门工程专业综合的主要因素
☆发展战略		☆可靠性
☆发展规划	★系统工程管理计划 SEMP	☆维修性
☆发展计划	★技术要求分配单 RAS	☆安全性
☆立项论证报告，含	★工程研制规范 EDS 与技术状态基线 CBL	☆电磁兼容性
①任务目标	★接口控制文件 ICD	☆生产性
②任务约束与保障条件	★工作分解结构 WBS	☆测试性
③技术性能与使用要求	★可靠性与维修性计划 R&MP	☆生存性
④相关工程系统的接口要求	★综合技术保障计划 ILSP	☆运输性
⑤工程研制程序等	★风险管理计划 RMP	☆价值工程
	★人机环工程计划	☆人机环工程
	★软件开发计划	☆综合技术保障工程
	★电磁兼容控制计划	☆贮存工程
	★试验与鉴定总计划 TEMP	☆贮存工程
	★生产性计划 PEP	☆电子战特性
	★权衡研究报告 TSR	☆计算机资源
	★其他相关设计文书	☆标准化
		☆保密性
		☆寿命周期费用
		☆系统总体特性

图 2—3　现代工程系统开发的技术过程

2.4 中国重大航天计划管理的运筹、组织者

20世纪中期，随着运筹学、一般系统论、信息论和控制论的出现，计算机、火箭技术等的发明，推进了一门崭新的技术科学—工程系统工程的形成[8]。在这一进程中，钱学森于1954年秋，完成了《工程控制论》的巨著，确立了他在国际工程控制科学领域的地位，也开始了他推进系统工程理论与实践发展的历史性历程。

在开创我国导弹与航天事业的进程中，钱学森首先遇到的难题，应当说不是导弹与航天技术发展中的具体技术问题，而是如何组建一个高效、有序的导弹与火箭工程开发组织管理系统。如何把成千上万的研制人员；数量众多的研究、设计、试制、试验和生产单位；难以计数的研究、研制和试验设备；数量巨大的研究与研制经费；要求严格、种类繁多的物质、器材，按照导弹、火箭和航天技术发展的总目标要求，协调一致地组织起来，有序地投入到导弹、火箭与航天工程系统的研究、设计、试制、试验和生产过程中去，形成一个具有科学预见性的实施计划，建立起一个高效、有序的工程管理系统[8]。应当说，一个国家科学技术、经济发展的预测与管理，现代复杂工程系统的开发管理，至今仍然是世界性的难题，仍然是困扰世界各国科技界和各国领导人的主要研究课题之一。

1958—1959年间，美国在研制“北极星导弹系统”的过程中，提炼出一种叫做“计划协调管理技术（Program Evaluationand Review Technique，缩写为‘PERT’）”的大型工程开发管理方法，取得了明显的成效[8]。钱学森敏锐地认识到它的价值。1962年，在他的倡导和支持下，及时地把它移植到我国导弹与火箭研制管理中来，结合我国的实际，进行了试点[12、13]。1963年，在研制战略导弹地面计

算机的工作中,用这种方法很快发现了研制短线,及时地采取了补救措施,使研制计划提前一个月完成[5]。科学管理的成效,打开了人们的眼界,使系统工程管理技术很快在导弹和火箭参制单位全面推广,不仅明显地加快了导弹和火箭的研制与试验进度,而且更有效地利用了我国有限的人力、物力和财力资源。80年代,在完成我国太平洋火箭试验、水下发射潜地导弹试验和发射我国地球同步卫星等重大科研活动中,都采用了系统工程管理技术,取得很大成功,并且推广到我国国民经济建设诸多部门,取得了重大效益。钱老及时引进、推广,并结合我国的实际发展了系统工程管理技术,功不可没。

在创建我国导弹和火箭研制体系之初,钱学森就明确指出[4,5]:"健全的航空工业,除了制造工厂之外,还应该有一个强大的为设计服务的研究及试验单位,应该有一个做长远及基本研究的单位"。钱学森当时就清醒地认识到:现代复杂工程系统的开发与传统工程研制有很大不同(参见图3),必须建立具有宏观谋划指导与系统设计控制、管理职能的总体研究机构。在主持制定"56~67年科学技术发展远景规划纲要"中又明确地指出[4,5]:解决本任务的途径是"尽先建立包括研究、设计和试制的综合性导弹研究机构";解决本任务的组织措施是"在国防部的航空委员会下成立导弹研究院,该院1956年开始建设,1960年建成……。"

按照钱学森这一思想,借鉴苏联航空技术总体设计部的经验,我国导弹、火箭与航天技术研究院陆续都建立起总体设计部,以及专业研究所和相关试制、生产厂与配套的试验基地,形成了我国航天系统工程的组织管理体系,把钱老对我国导弹、火箭发展的宏观战略谋划付诸组织实施。钱学森在总结我国导弹与航天工程研制实践中形成的、起着总设计师技术工作总参谋部作用的总体设计

部的工作经验时指出："这样复杂的总体协调任务不可能靠几个人来完成，因为他们不可能精通整个系统所涉及的全部专业知识，他们也不可能有足够的时间来完成数量惊人的技术协调工作。这就要求以一种组织、一个集体来代替先前的单个指挥者，对这种大规模社会化劳动进行协调指挥。""他们不是几十个人，而是成千上百学科配套、专业齐全、具有丰富研制经验的高科技队伍。"[8]对这一成功经验，周总理生前曾经期望把它推广到国民经济建设中去。在80年代，钱学森首先把它推广到军队装备建设工作中，在人民解放军总部、海、陆、空军和第二炮兵的建制中陆续地建立起名为"系统所"、"综合所"、"运筹所""论证中心"和"总体论证所"等新型研究机构，在我军武器装备与部队建设过程中正在发挥着重要作用。

恩格斯说过："一个民族要想登上科学的高峰，究竟是不能离开理论思维的"。[14]但是，进行理论创新，不仅需要脚踏实地的科学态度，不畏艰险的科学精神，还要有超出常人的自信心、勇气和智慧。在开创我国航天科技事业的长征中，钱学森提出了一系列有创见的理论思维[15]，特别是现代工程科学技术的理念、系统工程管理理论、总体部思想、现代科学技术体系和从定性到定量综合集成方法等。在我国航天事业的发展过程中，钱学森在现代工程科学技术理念的指导下，把技术创新、体制创新和理论创新有机地结合起来，对我国用最少的投人，比西方发达国家短得多的周期，走向世界航天大国的道路，创造人类科技发展的奇迹，作出了卓越贡献。这里讲的技术创新，主要不是指具体专业技术的创新，而是指在20世纪40—50年代，钱学森在已经初步形成的现代工程科学技术理念的基础上，钱学森在我国航天事业开创和大发展时期的运用与发展；这里讲的体制创新，主要是指钱老一再明确并积极推

进的总体部思想、技术与管理两条指挥线和决策、决策管理与决策实施管理分层次决策的机制；理论创新主要是指在我国航天科技发展谋划和开发进程中，实施钱老倡导、推动和在实践中形成的航天系统工程管理的理论和方法。总之，在我国航天事业开创和大发展时期，在周总理与聂帅的直接领导、在钱学森现代工程科学技术理念的指导下，国防部五院（包括后来的七机部）领导集体明智、坚定地实施技术创新、体制创新与理论创新的有效结合，有效地推进了航天发展宏观谋划“三步棋”指导、航天产品研制“三阶段”规划管理、航天产品开发实施三个层次的管理决策；两条指挥线明确分工与协调配合，并且强化了总体设计部在研制全过程的全局性谋划、全系统综合集成的技术管理机制，大力推广系统工程的管理理论和方法，使我国依靠自己的力量，在很短的时间内取得了令世人叹服的世界航天大国地位。

总之，在钱学森的组织、指导下工作，我们有一种豪气，外国人能干的事，我们敢干；外国人没干过的事，我们也敢试一试。钱老常说一句话：“别人讲不清楚的问题，我们应当讲清楚，我们也能够讲清楚，因为中国人并不笨”。在钱老的教导、鼓励和影响下，我们这代航天人不迷信洋人，不仅敢于改动外国人的“成熟设计”，独立自主地发展我国的导弹、火箭与航天技术，也能够做外国人从来没有做过的理论探索和科学实践。震惊中外的“两弹结合”试验等，中国就是第一家；对系统工程、思维科学、系统科学、复杂性科学和现代科学技术体系等的研究，在钱老的指导下，我国就有自己的创新发展……。

2.5 中、青年科技工作者的良师益友

1956年10月8日，恰巧是钱学森回归祖国一周年的日子，聂荣臻元帅亲自主持了我国第一个火箭、导弹研究院(简称“国防部五院”)的成立大会。这是一个别开生面的大会，主要内容之一是由钱学森对新中国156名首批投入我国火箭、导弹事业的大学毕业生讲“导弹概论”课。在1942年加州理工学院喷气技术训练班授课14年之后，钱学森开始了培养我国第一批火箭、导弹技术人才，并率领一支由来自五湖四海的老专家、从战场上走来的身经百战的指挥员、刚从学校毕业的大学生和从其他工业部门转过来的工人师傅组成的新型团队，以他在航天总体技术、火箭动力系统技术、工程控制技术、结构与应用力学、计算机和质量控制等领域的渊博知识和丰富的技术科学研究经验，承担起培养和指导我国一代中、青年科技人员攀登航天科技高峰的重任。

60年代初，我国自行研制的第一种弹道导弹发射失败，在钱学森的直接指导下，国防部五院成立了姿控系统研制攻关组。当时钱学森身兼国防部五院技术领导的重任，但是，无论工作多忙，他几乎每周都挤出1~2天时间与年轻的总体设计、环境研究和控制系统设计人员一起进行设计研讨，钱老几乎是手把手地从导弹运动特性、对控制系统的设计要求、姿控系统设计准则、姿控系统的设计方法与试验方法等方面，把他在美国从事技术研究、系统设计的经验和“工程控制论”的理论、方法毫无保留地传授给中、青年科技工作者，参与过当时这一工作的同事们回忆起这一段亲身经历的时候，都难以忘怀与钱老既是师生，又是同事、战友的深情。作为系统设计师，本人有机会在我国导弹、运载火箭重大技术方案

和试验方案论证过程中直接向钱老汇报工作和请教，几乎每一次都能够得到钱老高瞻远瞩的指导 他在重大技术问题的决策过程中，总是站得很高，抓住关键问题，从总体上提出思路十分清晰的指导意见，不仅使我们明确了下 一步的工作方向，而且思路更加开阔，从他那里学到系统工程理论、方法的真经……。是钱老把 一批中、青年科技人员带入到了工程技术科学家的征程，钱老成为我国一代中、青年航天科技人员在科学技术成长道路上名副其实的良师益友。

70年代，在研制我国第 一代远程火箭的过程中，受国内有限射程靶场的制约，导弹飞行试验考核遇到了技术上的难题。当时根据七机部领导的要求，在运载火箭研究院总体部成立了跨部门的专题论证组，由我担任专题组组长。通过专题组同志们加班加点的工作，终于提出了 一整套切实可行的技术方案，得到任(新民)老和钱老的支持。在听取我们汇报时，钱老讲了 一段使我终生难忘的话：“你们做了 一件很有意义的工作，提出了立足国内试验，解决我们面临技术难题的很好的技术方案，技术上是可行的。这个问题，我考虑很久了，是我多年来想解决，而没能解决的问题……。现在可以向上级报告了，我们已经找到了解决难题的办法了。”在场的每 一位同志都深深地为钱老高度的事业心和责任感所感动，他不以自己多年没有解决这一问题而讳言，而以年轻同志解决了这一难题而喜悦。这是 一位大科学家博大胸怀的自然流露，为我们 一代人树立了楷模。钱老在做重大技术决策时，总是耐心地听取各方面意见，从不忽视少数人的意见，这已经成为钱老的工作作风。最近在回顾我国航天事业开创时期的工作时，钱老语重心长地指出[16]：“当时在党中央、毛主席的领导下，由周总理和聂帅具体组织实施，他们采取什么办法组织实施这项巨大的系统工程呢？

就是民主集中制的办法。一是真正发扬民主……；二是高度集中……。我在周总理和聂老总领导下做技术工作，做技术决策，也按周总理和聂老总的办法，实行民主集中制。……由于我们既讲民主，又讲集中，而且是真正的民主，高度的集中，所以把方方面面的积极性都调动起来了……。”在钱老离开航天科研第一线领导岗位后，他仍然不断提醒新一代领导人要注意“发扬技术民主，实行民主集中制”。1996年7月16日，钱老给航天总公司刘纪原总经理的信中写到：“您信中说今年10月将是我国航天事业创建40周年，并嘱咐我写几句话。我对航天事业已经发表过许多文字，现在回想起来，最重要的实在只有一句话：我们航天事业的科技人员在周恩来总理和聂荣臻元帅领导下，贯彻了民主集中制，我们今后仍必须坚持民主集中制。[17]”他殷切地希望把“民主集中制”作为航天事业的宝贵财富发扬光大。这些都充分体现了钱老发自内心“尊重知识，尊重人才”的美德。

在完成了我国首批太平洋火箭飞行试验后，我试着写了一份“试验系统工程的初步尝试”[18]的技术总结。钱老知道这件事后，就在我的一份材料上，亲笔写下了：

“我很愿意学习您的报告

钱学森

1982.4.7”

并让当时他的秘书王寿云同志转给我。在钱老的鼓励下，我很快完成了这份技术小结的初稿，呈送钱老审阅。钱老很仔细地阅读了我的技术小结，做了明确的批示，并请当时国防科工委主管七机部工作的三局局长丁衡高同志和七机部科技委阅示，请七机部科

技委组织讨论。虽然由于人为的原因，七机部科技委没有收到我的报告和钱老的批示，但是，王寿云同志详细地向我转告了钱老批示的内容，使我们这些年轻的科技工作者受到很大鼓舞。钱老谦虚谨慎、虚怀若谷，提携年轻科技人员的大科学家风范，在我们一代人中树立了光辉的榜样。目前，在著书立说、申报科技成果等过程中，偷梁换柱 挂名之风时有发生，钱老却不肯参加修订版《工程控制论》的授奖大会，把荣誉让给做具体工作的年轻人，在科技战线树立了一面光洁无瑕的镜子，鞭策和教育我们与年轻一代科技工作者，在科学技术攀登的道路上，要做一个脚踏实地的人、一个诚实的人、一个脱离了低级趣味的人，一个主要依靠自己的创造性劳动立足于科学技术殿堂的人。真正的科研创新成果，总是与诚实、流淌辛勤汗水的人为伴，永远不会与虚伪、投机取巧的人同行。

2.6　钱学森航天科技实践的启示

回顾钱老走过的道路，他在我国航天事业发展历程中的科学探索与实践，对我们有很多重要启示，可不可以做以下几点概括：

(1)面对越来越复杂的世界，现代科学技术的发展已经进入了以若干单项技术和单一学科领域理论突破为支撑，综合集成为主要创新手段，社会化、高度社会化研究为主要组织形式，复杂高新技术工程系统、科学新思想与新理论的突破、建立与运用的科学管理为突出特征的新时代。新的时代需要更加重视新型的综合性科学技术人才的培养与合理使用；新的时代，高新技术产业化的可持续发展与科学新思想、新理论的突破与运用关系到国家的前途和命运。因此，更加需要现代科学思想，特别是现代管理科学、系统科学、复杂性科学与现代马克思主义哲学的理论指导。国家在重

视技术创新的同时,应采取相应措施,加大推进体制创新与理论创新的研究力度,进一步提高对社会主义建设事业的宏观指导能力。

(2)面对复杂的现代社会,复杂的现代工程系统开发与建设的实际需求,应当进一步重视现代人才观和现代教育思想的研究与实践,逐步建立适应我国社会主义现代化建设需要的现代人才观和现代教育思想体系,推进我国人才组织管理与教育的改革,形成我国科学的现代人才管理与现代教育管理机制,把我国的人口优势尽早转变成人才优势,已经成为我国现代化建设事业的一项具有重大战略意义的任务。当今世界,人类在科学技术领域的创新活动,已经不是爱迪生发明电灯泡的时代,对于单一学科领域的人才,二维知识世界的创新人才,多维知识世界的高素质、综合性科学技术人才的培养与使用,应当有不同的对策。并且应下决心逐步改变在现代科学技术面前,领导干部,特别是中间层次的领导干部大多数处于信息层次,少数处于系统知识层次,极少数处于智慧层次的落后局面,以利于尽早实现国家、部门,特别是科研与教学单位具有远见卓识的宏观指导。对于科学技术领域,特别是对相对复杂的综合性学科的研究,高新技术复杂工程系统的开发与管理,不应简单地提倡年轻化,应正视当今世界科学技术发展的时代特征,从科技事业发展和现代复杂工程系统建设的实际需求出发,妥善处理好培养大批年轻科技人才与充分发挥我国有限的高素质、综合性科学技术人才作用的关系,为我国有限的高素质、综合性科学技术人才充分发挥聪明才智创造更能够有作为的社会环境;

(3)钱老的科学实践充分说明:科学技术是潜在的巨大生产力,当其实现了产业化,将转变成现实的巨大生产力。而掌握了现代科学技术、对国家和人类具有高度责任感,又有用武之地的人

才，是最具活力的生产力要素。所以，江总书记明确指出："人才是科技进步和经济社会发展最重要的资源，要建立一整套有利于人才培养和使用的激励机制"，这是十分重要、迫切的任务。一个国家科学技术落后、军事装备落后、经济落后，尽管有其历史原因，但是，从某种意义上讲，现代科学思想、管理上的落后是其根本性的原因，人才使用的合理性具有决定性的影响。人才问题，首先需要解决现代人才观的认识问题。但是，主要还是一个思想问题，对国家振兴的社会责任感和领导问题，应加大力度首先解决好对我国有限人才科学与公正评价，合理与公平使用，现实与有效的激励机制问题。

(4)面对越来越复杂的现代经济社会，越来越复杂的现代工程系统的宏观谋划与开发管理，任何个人和单一职能部门都有其知识、能力和历史的局限性，都越来越显得力不从心，难以有更大的作为。现代复杂工程系统的开发与建设需要总体设计部；现代经济、社会，乃至政治、外交等复杂领域的运筹管理，也需要具有宏观谋划、运筹、协调、综合集成与组织管理咨询职能的"总参谋部"，应当进一步开展国家及相关领域实施"总体设计部"必要性与现实可行性的研究，进一步从体制创新入手，提高国家与相关领域宏观决策的管理水平与能力；

(5)从事综合性、交叉学科研究以及复杂工程系统开发与建设的科技人员，经常面对具有深刻社会性、复杂系统性的研究课题，客观上要求他们应当具有广阔的视野，开阔的思维，宽阔的胸怀。为此，应当自觉地学习、研究马克思主义哲学，树立辩证唯物主义的世界观与方法论，钱老在这方面为我们树立了光辉的榜样。钱老认为："马克思主义理论是迄今最科学的社会科学理论，马克思主义的世界观是科学的世界观……。马克思主义哲学则是人类知

识的最高概括，要发展现代科学技术，必须用马克思主义哲学做指导[5]"。钱老以其亲身经历谆谆告诫我们："马克思主义哲学确实是个宝，是一件锐利的武器。我们在搞科学研究时(当然包括交叉学科)，如若丢弃这件宝贝，实在是太傻瓜了！而如果能在交叉学科的研究中用好马克思主义哲学，那交叉学科在我国的发展前途是光明的，这是必然的，毫无疑问的[8]"；

(6)钱老在授予他"国家杰出贡献科学家"荣誉称号的会议上，怀着对祖国、人民的高度责任感明确地指出："我认为今天科学技术不仅仅是自然科学工程技术，而是人认识客观世界、改造客观世界整个的知识体系……。我们完全可以建立起一个科学体系，而且运用这个科学体系去解决我们中国社会主义建设中的问题。……假设我们把这个科学体系建立起来了，就跟放卫星一样，完全可以用来成功地建设社会主义。……我在今后的余生中就想促进一下这件事情。"一个热爱祖国、对人类具有高度责任感和创新思维的科学家，在科学探索与实践的征程上，具有不屈不挠的意志，能够产生超出常人的智慧和创造力，实践表明他们的思想具有敏锐的前瞻性。近20年来，钱老致力于系统科学研究，构建了"现代科学技术体系"和"社会主义建设体系结构"，给我们指出了发展现代科学技术、有序建设社会主义国家的宏观总体思路；构造了处理现代社会、科学技术发展复杂问题的科学方法论——从定性到定量综合集成研讨厅体系，并且明确地指出"运用这个方法的集体称为总体设计部"[19]。面对新技术革命和全球一体化的挑战，我们应当对钱老的创新思想和重大建议高度重视，这是全国人民的福祉所在。

在我的记忆中，钱老说过："我也说过错话……"。在我国前无古人的社会主义革命与建设的进程中，我们的党也在摸索中前进，

在不断总结经验、教训的过程中成长、壮大。在复杂工程系统的开发与建设过程中,在科学技术攀登的道路上,特别是面对现代复杂的社会、经济与科学技术发展环境,研究要素的多元化,研究对象的复杂化,研究方法的综合化,科学技术活动的社会化、高度社会化发展,使得任何个人与单一职能部门在处理复杂问题面前,都显得力不从心,都有其知识、能力和历史的局限性,难免出现预想不到的问题。但是,在科学研究的道路上,人类总要不断探索,只要他们是在为人民谋利益的道路上努力拼搏、奋斗了,尽力发挥聪明才智,进行了辛勤的劳动,人民总是会理解他们的,对他们的工作,人民总是会满意的。

最后,让我用江泽民总书记在授予钱老"国家杰出贡献科学家"荣誉称号的仪式上的讲话,结束这一章,并与大家共勉。总书记讲[20]:"钱学森同志是我国杰出的科学家,在国内外享有很高的声誉。他在技术科学的许多领域做出了卓越贡献。特别是在老一辈无产阶级革命家的领导下,钱学森同志以他渊博的学识和对人民事业的热忱,为组织领导新中国火箭、导弹和航天器的研究发展工作发挥了重要作用。""钱学森同志是我国爱国知识分子的典范,他的经历体现了当代中国知识分子追求进步的正确道路。"

参 考 资 料

1 徐焰:《陈赓大将——身经百战惊世界》,《北京青年报》,2001.5.17,4版。
2 钱学森:《周总理让我搞导弹》,《中国航天腾飞之路》,政协文史出版社,1999,第14~19页。
3 任新民:《航天历程中的几点回忆》,见《中国航天腾飞之路》,政协文史出版社,1999,第62~69页。

4　王寿云等,《钱学森传略》,《航天》,1992(1),第2~7页。
5　胡士弘:《钱学森》,中国青年出版社,1997。
6　聂荣臻:《聂荣臻元帅贺信》,《人民日报》,1991 10.16,1版。
7　涂元季:《钱学森和中国的导弹航天事业》,见《中国航天腾飞之路》,政协文史出版社,1999,第590~598页。
8　赵少奎、杨永太著:《工程系统工程导论》,国防工业出版社,2000。
9　(美)弗雷蒙·E·卡斯特、詹姆士·E·罗森茨威格(柴本良,华棣,李盛昌等译),《科学、技术与管理》,国防工业出版社,1979。
10　赵少奎:《十年前的太平洋火箭试验》,《航天》,1990(2),第1~4页。
11　赵少奎:《飞向太平洋的运载火箭》,《航天》特刊,1999(6)。
12　陶家渠:《计划协调技术概说》,国防科委情报所《系统工程与科学管理》,1979(9)。
13　钱圣已:《计划协调技术的探索与初步试验》,国防科委情报所《系统工程与科学管理》,1979(8)。
14　《马克思恩格斯选集》第4卷,人民出版社,1995,第285页。
15　赵少奎:《对我国工程科学技术发展的思考》,《中国工程科学》,2001(3),第22~30页。
16　钱学森:《一切成就归于党归于集体》,《光明日报》,2001.5.10,1版。
17　刘纪原主编:《航天春秋(第一辑)》,中国航天工业总公司,1996。
18　赵少奎:《试验系统工程初探》,《航空高技术与系统工程文集》,航空工业出版社,1991,第277~281页。
19　钱学森:《开创复杂巨系统的科学与技术》,《中国系统工程学会简报》,1995。
20　江泽民:《在授予钱学森同志"国家杰出贡献科学家"仪式上的讲话》,《人民日报》,1991 10.16,1版。
21　《刘华清,国务院、中央军委命令》,《人民日报》,1991 10.16,1版。
22　宋健主编:《"两弹一星"元勋传》,清华大学出版社,2001。

第3章 钱学森与控制论

钱学森在控制论方面作出了开创性、前瞻性的贡献,特别是他把控制论与系统科学、复杂性探索结合起来考察,给人们提供了理论和方法论的指导。因此,回顾和研究钱学森在控制论方面的思想发展历程和学术贡献,具有重要的理论和实践意义。

3.1 控制论的基本内容、发展过程及其对社会发展和科技进步的重要作用

人类在社会实践中很早就希望构造一些精巧的机器能够代替人类自动完成一些复杂的操作。最早实现的这类功能包括自动计时,自动定向,利用水力、风力的自动装置,等等。科学技术发展的推动力归根结底来自于社会生产的需求。瓦特蒸汽机首先解决了动力问题,但为了能够正常工作,瓦特还发明了一种离心调速器,它能自动调节进汽阀门以保持一定的转速。这里他实际上已采用了反馈原理,即根据转速变化引起离心球高度变化反过来改变蒸汽输入并调整转速。而这里又有个"度"的问题,不能矫枉过正,否则也会恶性循环,出现自激振荡。为此,物理学家麦克斯韦研究了这种反馈系统的稳定性问题,并于1868年发表论文"论调节器",当属最早的理论工作。

当时控制的对象主要是机械和电子系统。20世纪20年代以

来,在电路和无线电方面运用频谱分析方法得到了关于系统稳定性和其他品质分析的大量成果。这套理论恰好可用于控制系统分析,形成了今天所谓的古典调节理论,它们至今仍广泛用于许多简单的实际问题。较复杂的问题则涉及非线性和随机输入下的系统品质和控制问题。前者导入了李亚普诺夫和庞加莱关于动态系统稳定性和动态行为定性分析方法。后者则由维纳发展了统计滤波和预测理论,据说曾用于二战中的防空火炮控制。20 世纪 30—40 年代系统和控制思想空前活跃,贝塔朗菲的一般系统论,维纳的控制论,申农除了信息论以外,还发表了关于继电开关逻辑综合的理论,至今仍是计算机等离散状态系统控制综合的理论基础。冯·诺意曼除了决策和博弈理论以外,还提出了现代计算机体系结构和自组织、自修复、自繁殖系统的初步想法,阿什贝的控制论则比较强调从生物医学的角度提出新的思想,例如体温的自行镇定(Homeostat)和适应环境(Ultrastable)的系统。系统论、控制论、信息论就是那时开始形成的,它们今天仍然是信息科学技术发展的重要理论基础。

3.2 控制论发展面临的问题和钱学森工程控制论的发表

维纳把控制论界定为"在动物和机器中控制和通讯的科学",他选用的术语 Cybernetics 既来自希腊文中"掌舵人"的概念,又与麦克斯韦 1868 年的论文中"调速器"一词有关。但其内容主要涉及统计力学在通信、滤波和控制中的应用,反馈原理和稳定机制,控制论原理在生物医学和社会管理中的应用,等等。这也不难从其各章标题看出:牛顿时间和柏格森时间;群和统计力学;时间序列,信息和通讯;反馈和振荡;计算机和神经系统;完形和普遍概

念;控制论和精神病理学;信息,语言和社会。此外,在第二版还加入了自繁殖机一章。阿什贝的书也类似。他们较多地谈论思想和方法论,而如何将它们用于解决工程实际问题已成为人们关注的焦点。另一方面,控制工程的发展水平也比较低,大多限于单回路线性调节或伺服系统设计,不少还停留于经验公式和参照图表的阶段,"解析设计"的概念刚处于萌芽时期。

钱学森的"工程控制论"英文版(Engineering Cybernetics)[1] 则在1954年应运而生。它包括18章,其篇幅按1958年的中译本[2] 计为33万字,它的内容特点可概括为以下几方面:

面向工程应用的理论。书中指出,控制论(Cybernetics)一词,安培曾于1845年用于描述一种关于国务管理的科学;工程中广泛应用的古典(伺服)控制系统理论(1930—1940)是关于机械系统与电器系统的控制与操纵的科学,维纳控制论(1948)则是一种较为普遍的关于动物体和机器的控制与通讯的科学。钱学森进而将控制论的主要问题概括为"一个系统的不同部分之间相互作用的定性性质,以及由此决定的整个系统总体的运动状态"的研究;而工程控制论则被界定为研究控制论这门科学中能够直接用在控制系统工程设计的那些部分,它除了应当包括伺服系统工程实际的内容之外,更深刻更重要的在于作为技术科学,应把工程实际中各种原理方法整理总结成为理论,以显示其在不同领域应用中的共性,以及许多基本概念的重要作用。它的重点在于理论分析,而不是系统部件的详细构造和设计问题。作为技术科学,工程控制论使我们可能以更广阔的眼界、更系统的方法来观察有关的问题,从而常可得到解决老问题更有效的新方法,并揭示新的前景。

承前启后。从理论结合工程实际的角度极其精炼地介绍了从应用拉普拉斯变换和传递函数概念解决线性常系数反馈伺服系统

问题到非线性,变系数,时滞,多变量解耦(自治),交流伺服,采样(离散时间)系统,以及自寻最佳点,噪声过滤和最速开关控制,以及自行镇定超稳定性和可靠性设计等当时最新甚至超前的研究成果。处于"古典(传递函数,频域法)"和"现代(状态空间)"控制理论的转折,起到承前启后的作用。随着工业、国防等方面不断提出新的技术需求,电子计算机日益广泛应用,以及控制系统数学理论方法的发展,钱学森预见到控制论面临重要突破。他于1961年建议由关肇直、宋健等组织现代控制理论讨论班,并特别鼓励青年人关注现代控制工程实际问题,并及时跟踪控制论发展的新动向。这使我国控制理论研究较快地赶上了世界潮流,并在60年代就已取得一批领先世界水平的成果。1980年钱学森又与宋健等人共同完成了《工程控制论》中文修订版[3],更完整地反映了近期的进展,特别是中国学者的工作。其中包括北京大学一般力学专业1963年我们完成的一篇学士毕业论文(后在自动化学报正式发表[9]),在世界上最早独立提出两项结果:线性控制系统极点配置和线性二次最优控制问题的一种迭代解法。前者被誉为控制理论最重要、最优美的结果之一,而后者国外称克莱因曼方法,发表于1967年,至今仍是收敛最快的算法之一。尽管当时未能及时参加国际交流,这些情况后来也得到了国外同行的承认和尊重。近年控制理论中又兴起了一种称为"线性矩阵不等式"的通用方法,其基本思想仍可回溯到我们1963年的工作。

综合集成。钱学森在对(维纳的)控制论,申农的信息论,贝塔朗菲的一般系统论,冯·诺意曼的博弈论以及系统论等基本肯定的同时,也指出其简单化的倾向。书中就其精华做了精辟的概括,并突出强调了贯穿全书的技术科学方法论,具有重要的指导意义。基于他实际从事的飞行器和发动机控制问题,给出了理论分析和

第一手的解决办法。这种研究风格一直延续到他在我国两弹一星研制中综合运用系统和控制工程理论与技术解决的大量实际问题，一直到后来明确指出控制论在系统科学体系结构中的定位，以及复杂巨系统及其从定性到定量的综合集成方法论，为这类重要系统的建模、分析、运筹和控制问题提供了理论基础和方法论依据。

3.3　从现代控制理论、大系统理论到复杂系统及其控制理论

由于维纳控制论比较抽象的内容和比较广阔的思想，它与控制工程有一定的距离。1978 年纪念《控制论》发表 30 周年之际，国外曾征文以最短的篇幅阐明控制论的实质内容。对此我们也曾进行思考并提出若干自己的看法。

实际上，控制论的基本问题，即如何对系统施加控制作用使其表现出预定的行为，并不等于按其数学模型由预定轨道解一个“反问题”，以求出控制输入这样一个数学的问题。关键就在于存在各种不确定因素(Uncertainty)。例如，控制系统的性质常可用某一特定数值是否为零来判断，但若该值不为零但特别小，从而很小的误差或噪声干扰就可能导致严重的后果，于是能否放心使用就是一个常见的问题。正因为此，反馈系统要比开环系统强；稳定性的频率判据要比代数判据更接近实用；理论的方法还要结合经验的判断。系统的结构和参数存在误差或发生变化时为使系统保持良好性能，就须要研究系统对这些变化的灵敏度或鲁棒性问题；当存在噪声等随机不确定性时，可以用统计滤波等方法；而当系统特性变化缓慢时，可以采取自适应、自校正等方法跟踪这些变化；又若存

在主观的不确定性或知识不足时，可以利用模糊控制，智能控制等技术。如此等等，几乎就可以概括控制理论的所有概念、方法和内容，即归结为针对某种不确定性使系统保持预定的品质。包括大系统、复杂系统和复杂巨系统的控制，要解决的也是由于“大”和“复杂”，无法用还原论方法进行微观处理而带来的不确定性问题。用这条线索可以把整个控制论串起来。对于非控制专业人员，由此也不难理解控制论的基本思想、理论和方法论。

工程控制论在各方面得到了广泛的应用。20世纪40—50年代用于船舶、火炮等机电系统操纵的伺服（随动）系统理论和技术已发展得比较充分，并在工业、国防中发挥重要作用。1960年前后由于火箭和航天技术的需求和支持，加上计算机技术的进步，发展了基于状态空间描述的多变量控制系统分析和设计理论，以极大值原理和动态规划为代表的最优控制和最优化理论，以及卡尔曼滤波和随机最优控制理论，再加上非线性系统分析的状态空间方法，用于工业和国防的自适应和自校正控制系统理论，等等。以上述内容为主的现代控制理论曾经得到充分的支持和蓬勃的发展，并在1968年美国阿波罗成功登月中起到了很好的作用。其实这里许多理论和技术在“工程控制论”中均已做了总结和概括。其后有趣的是，正由于大功告成，美国航天局撤消了对这方面的大量支持，解聘了许多雇员，并迫使他们转向工业、生物医学、社会经济等新的应用领域，寻求新的发展和支持。

又使人感到意外的是：他们引以为豪的那些“交会对接”、“软着陆”等高精尖技术并没有很快找到用武之地或起到立竿见影的效果。社会经济和生物医学方面的机制、规律过于不清楚，数据很不确定，工业领域的对象和问题，哪怕像锅炉燃烧、物料搅拌、连铸连轧、化工反应之类，尽管要求不高，但比较含糊、多变，难以描述。

再如电力、交通、生产制造之类系统，由于规模大、变量多，无法一揽子处理。许多问题事实上也不必要动用那些昂贵、精密的仪器和设备。与此相应地倒是发展了大系统、模糊性理论、智能技术等新的方向，开辟了新的思路。在 1980—1981 年，《工程控制论》修订版[3] 中增加了 5 章新的内容：最速控制系统，分布参数控制系统，逻辑控制和有限自动机，信号与信息，大系统理论，也部分地反映了这种情况。

国外在这一时期也出版了若干以"工程控制论"为题的著作，如乌克兰的伊瓦赫年柯(1962)等，主要介绍了有关自适应、自校正、自学习、变结构、极值控制等方面的一些新结果，美国格罗里奥索(R. M. Glorioso)的《Engineering Cybernetics》(1975，1983)则侧重于智能系统方面的概念，和工程应用都有较大的距离。实际问题要考虑更多方面需求和约束因素，其实比理论研究更加复杂。但同时也由问题的特殊性可使人得到启发，找出解题的办法。只有通过结合实际的研究，才能不断发现，不断前进。这也是钱学森教授经常对年轻人的谆谆教导。

3.4 系统工程和系统科学

1978 年，钱学森、许国志、王寿云在《文汇报》上发表文章[4]，推动了系统工程在中国的发展和应用。作为系统科学工程应用层次与控制工程并列的学科分支，系统工程在我国的发展和成就也是有目共睹的。对于控制论来说，系统工程一方面从管理的角度为控制问题明确指标，分配资源，规定约束，以求达到全局的目标和均衡，从而更接近于实际问题的要求。另一方面，系统工程涉及到人、物、事的全面协调，人类决策和对人的管理，各类"事件"的安

排、调度等原属运筹学的内容也进入了控制领域，扩大了“控制”的内涵。同样，系统动态演化过程、信息反馈和调度控制的概念，特别是离散事件和混杂系统控制等前沿分支也自然地进入了系统工程，充实了系统工程的理论基础。同时在系统工程领域，根据问题不同，采用不同的模型和技术方法进行综合集成，也已被公认为基本的方法论。

尽管系统工程领域早已开展了方法论的研究，Hall、Wymore、Sage等人都发表了专门的论著，但他们多限于简单地把它看成一个过程，一种使用方法的方法，等等。韦氏大辞典中辞条methodology释义为“用于科学、艺术或条律的方法，程式，法则，假定及工作概念的总体”，“用于解一个问题或做一件事的一组过程，技术，途径，一个特定的程式或一组程式”，似乎说得还更清楚些。相比之下，钱学森等人1978年[4]关于系统工程方法论的提法更加全面，更适用于我们的问题，更具可操作性。

作为对照，若干年后著名的国际应用系统分析研究所(IIASA)曾在1980年组织过一次对于系统工程的反思的讨论会。他们也谈到了需要一个坚实的方法论的基础，传统的还原论方法已不适用，特别强调要从实际需求出发，并运用经验知识，等等。其文集出版于1984年[10]，也说明了我国这方面工作的正确性和先进性。

1985年，钱学森在“大系统理论要创新”[5]的讲话中指出大系统理论属于技术科学，要注意利用知识和经验，并接受基础层次的系统学的指导，此外还建议结合国家宏观社会经济问题组织交叉学科合作研究，做出自己的贡献。

1986年初开始举行的八十余次系统学讨论会上，钱学森多次明确提出了系统科学的体系：即与哲学联系的系统论；基础层次的系统学；应用基础或技术科学层次的控制论和运筹学等分支；以及

控制工程和系统工程等直接用于解决实际问题的工程技术层次的内容。其后又将其总结为"开放的复杂巨系统综合集成方法论"及其在各方面实际应用的学科体系。以上表明,30多年来钱学森先生从工程控制论到系统科学体系的形成,再次明确了控制论在其中的地位,实现了一个重大的飞跃。

3.5 控制理论面临的挑战及其未来发展方向

系统和控制科学的这一飞跃,归根结底来自对科学技术和生产实践中复杂性和复杂系统的认识。将这种认识用于改造世界,人们遇到了更多的复杂性问题的挑战,并逐渐深化了对于复杂系统、复杂巨系统的控制问题的认识。应当说这是当前科技发展的趋势,也是国际控制界近年的热门话题。钱学森早在1986年就指出了控制论和自动化在社会生产、科技进步和人类文明建设各方面的重要作用,并把控制论纳入复杂系统和复杂巨系统研究框架的思路。有趣的是,国内外控制界紧随其后也掀起了一股研讨自动控制面临复杂性问题的重大挑战,急需寻求新的思想、方法和工具的研讨热潮。从中亦可看出钱学森对控制论发展趋势的预见性,具有重要的理论和实际意义。

1986年9月,美国电子与电机工程师协会(IEEE)和国家科学基金会(NSF)邀请52名各国专家举行了一次关于"对控制的挑战"的研讨会。在回顾自动控制在航天航空、通讯网络、制造系统等新科技领域中的重要作用之后,他们指出了目前控制科学面临的一系列挑战问题,诸如:未能完善建模或需要在运行中不断改进模型的系统;由突发事件驱动引起离散状态转移的各种定性和定量模型描述的系统,它们需要与传统动态系统有本质不同的处理办法,

也更接近于计算机和逻辑控制的实际过程；鲁棒、自适应和容错控制，随机、非线性和分布参数控制问题，信号处理和通讯中的控制问题，分布式信号处理和决策机制问题，系统集成、实验及其技术实现，以及人和机器在更高层次上和谐交互的问题，等等。

1988年，美国工业和应用数学协会（SIAM）组织专家研讨，提出了“控制理论的未来方向”的调研报告。报告指出，控制理论需要内容丰富的数学工具，并综合应用于建模、分析、计算和实验各方面。当前的挑战问题可概括为：非线性、多变量和分布参数的许多基本理论问题；机器人、加工系统和空间技术提出了许多新的挑战问题；日显重要的实验研究不仅用于建立面向控制的模型，也用于检验新控制范式的有效性；计算能力的迅速进步不仅可以提供实时算法，也为开发新控制范式提供巨大需求和机会。最后特别指出，必须克服重视有形的硬件而忽略其中算法、理论的倾向，才能保持其领先地位。

国际自控联（国际自动控制联合会，IFAC）理论委员会曾于1990—1993组织了关于“控制在工业中应用面临计算机的挑战”调研，发表了总报告和14个工业项目调研的分报告。这些项目包括钢铁工业，城市供水网络，汽车控制，生产调度，集成电路生产，垂直起落飞机，水力发电和城市供电管理，监控系统和故障诊断，柔性空间结构控制，等等。其目的在于弄清其中控制论所起的作用，特别是由于计算机扮演着越来越重要的角色，形成了对控制的挑战。在统计的工业项目中，计算机的投入占60%以上，而其中大部为软件的费用。软件中应用软件又远大于系统软件，反映理论成果的“智能软件”只占软件投入的5%—10%。尽管应用领域不同，其共性问题是系统和软件的复杂性。典型的程序规模达数百万条语句，瓶颈问题为大型软件的需求规范描述，自动编程实现和

验证查错。离散事件和混杂动态系统的理论和计算机科学的最新成果将有助于解决这一问题。

"欧洲控制杂志"1995年曾就控制理论当前面临的挑战问题对专家进行问卷调查。普遍认为，控制理论必须有新的应用，新的血液、新的研究问题，否则就要灭亡。其具体内容包括鲁棒控制，非线性系统、离散事件和混杂系统、控制器和对象的集成设计、系统/控制/逻辑/计算机的融合，等等。以上各方面不仅系统规模大，而且须要采用综合不同概念、不同方法的复杂系统分析和设计途径。特别值得强调的是计算机在其中的作用，它不仅是实现手段，而且近来发展的并行处理，矢量算法、自动编程、人机交互和CAD（计算机辅助设计）技术将可为复杂系统控制设计提供越来越方便的手段。

1996年，在美国召开了"网络和系统的数学理论"国际会议，大会报告汇编《21世纪的系统与控制科学》，其中强调运用新的方法论来解决由诸如飞机设计、电路模拟、图象语音合成、计算机视觉等各领域的问题。涉及的具体问题包括正系统理论（经济系统，马尔科夫型决策问题），大变形弹性理论（合成橡胶动力学），控制系统设计的数值方法研究，流形上的随机过程（用于计算机视觉），非线性系统控制的新途径，集值映射，运动目标检测和视觉运动控制，风险敏感的马氏决策，自动目标重构算法，战斗机和导弹控制技术及其向工业的转移，等等。

综上所述可以看到，大家关注的所谓挑战主要来自于物质生产、科学技术、生物医学和社会经济等领域的复杂对象和复杂问题。人们就事论事地罗列了许多问题，尽管其中也不乏真知灼见，但如一些外国教授所说，主要还是为了引起对他们自己的研究方向的重视。而钱学森提出的关于复杂巨系统研究，包括建模、分

析、设计、优化和控制等方面，实际上已经对这一大类问题提供了普适的理论和方法论的指导。

1999年于北京召开的国际自控联14届世界大会上，宋健教授做了题为“21世纪的控制”的大会报告[6]，从跨学科的全局观点进一步具体指出：推动自动控制学科发展的主要动力仍然是物质生产和消费。系统的智能程度将提高，对智能和复杂性的定量刻画将是未来发展的紧迫任务。控制的应用范围今天已扩展到：制造工业、农业、航天航空和服务业，今后还将发展到金融业，生活和企业经营的计算机和智能化，以及机器人和外太空探索等。前沿科学领域，如分子生物学、人类基因破译等，也都要用到系统和控制科学的概念和方法。具体前沿课题包括：非线性（微分流形/辛流形方法），离散事件系统，分布参数系统，鲁棒控制，自适应/自校正/自组织和容错控制，等等。

3.6 控制问题的特殊复杂性[7,8]

对于复杂系统控制问题的特殊复杂性，或即所谓复杂控制问题，我们也应给予充分的重视。这是因为除了控制对象的复杂性外，技术工具的进步，如半导体微电子学，光学和光电子学，计算机和通信网络等信息采集、存储、传输、计算和处理技术的迅速发展，也强力推动着自动控制等具有明确的“改造世界”特征的那些学科分支的发展。这些技术工具反过来又给系统带来了新的复杂因素，提出了新的复杂性研究问题。人们认识到，在控制问题中除了被控系统本身的复杂性外，还要考虑许多新的复杂因素。这种复杂控制问题包含了几方面复杂性的综合：

1. 被控系统的复杂性：大规模，非线性，多层次，多子系统，不

确定性，人机交互，高复杂度的离散变量，需用不同模型描述，等等；

2. 系统环境的复杂性：噪声和干扰，海底、外太空等变化或未知的环境，环境部件的失灵，等等；

3. 控制器的复杂性：传感，执行，计算机本身的复杂性，互联网上的远程控制，以及人机交互对系统本身特性的影响等等问题。一个典型的例子是太空中轻、柔、薄、大的太阳能帆板须控制以保持朝向太阳，但其上传感器和执行器的安放对系统特性又有很大影响；

4. 控制问题本身的复杂性：全局和子系统设计的目标分配，性能和费用的折衷，多目标优化，多人合作或冲突环境中行为的不确定性。这种问题常见于大型多学科协作的工程项目，亦属系统工程的典型问题。

由于这几方面错综复杂因素的影响，复杂控制问题具有极大的挑战性，智能化的方法是不可避免的。当然，这里主要指智能技术的应用方面。概括地说，智能技术总是由于问题过于复杂，无法或不值得花大力气精确处理，从而可采用一些近似的、经验的办法，给出某种满意的解答。它是经验规则的总结和应用，由于有计算机帮助处理大量数据，可以在一定范围内做得更快更好。智能技术的大量研究在于对人类决策行为的分析和模仿，它可以是规范式的机理模型或描述式的行为模型。我们坚信，尽管在可预见的将来人们还不可能彻底洞察人类智能和认知的奥秘，但在不断实践、深化认识的历史长河中，智能和认知的机制是可以任意逼近的，是可知的。在机理模型和行为模型之间也没有绝对的界限，机理认识越深入，行为模拟就越逼真。反之，行为模拟能力越强，又越能加深对机理的认识，这也是对立统一的两个方面。此外，今天

信息时代群体智能问题也日益突出。对于多个决策单元相互竞争和协同工作的情形，又将遇到多人决策和博弈论的问题，各单元拥有的信息对全局结果的影响使有可能度量信息的价值，这又是信息经济学的基本问题之一。

3.7 从21世纪信息科技发展看控制论的前景

从更大范围看，自动控制是人类按明确目标理解和使用信息，施加控制作用以求达到满意结果的能动的过程。从信息科学技术发展的全局可以更清楚地看到控制论的作用。现代信息科学技术包含信息记录，存储的载体半导体电子学，光学和光电子学，信息传输的通信网络系统，信息处理的计算机系统和信息的应用所需的自动控制和信息处理系统等。

物质、能量和信息被公认为现代人类生存发展的三大基本要素。其中前两者已日近衰竭，而描述信息获取及处理能力的速度、密度、容量等近年一直按"摩尔定律"（预测至少到2010年）以每1~2年翻一番或每10年100倍的速度迅速膨胀，已从K（千）、M（兆）、G（十亿），正向T（"太"，万亿）的水平发展，信息产业的财富也达到以万亿计的水平，人们称为进入"太的纪元"。这既给人们提供了强大的工具，也带来了复杂信息处理和使用的挑战问题。

信息科学技术发展突飞猛进，目不暇接，已经成为人们每日的生活必需，并根本改变了人类的生活、工作和思维的方式，但与此同时也带来了许多新的挑战。从全球环境、国际关系到人类社会可持续发展，从太空探索到各种基础设施建设，从社会生产、企业管理到个人行为，以至科学技术本身的发展，都提出了大量亟待解决的难题。系统与控制科学技术研究的正是如何运用各种信息科

技的最新成果，延伸人的信息获取、处理和决策控制的能力，以解决人类社会面临的问题，并达到改造世界的目的。今天，信息科学和技术已广泛用于各种教育和科研、社会物质生产，以及政治、军事、教育、经贸、医疗乃至日常生活的方方面面。它不仅带来了大量新的科学成果和物质财富，改变了人们的思维、工作和生活方式，而且还直接决定了国家的整体实力，从而它已成为国家建设和社会进步的一种最重要的支柱。更有甚者，发达国家还可以用信息技术来窃取他国机密，控制甚至摧毁他国的信息系统。因此，为了国家的安全，我们还必须发展独立自主的信息技术和产业。

各国均十分重视信息技术的发展，并认识到政府有责任加强规划管理，增加投资强度。特别对长程的、基础性的研究，更应当由政府来投入。美国政府曾在2000年度投资3.66亿美元(即比上年度增加28%)支持信息技术研究。他们认为，信息技术的发展不仅加强了美国的国际地位，而且占有美国经济增长的1/3，雇用了740万人员，其工资较各行业平均水平高出60%。他们理解基础性研究的重要性："犹如60年代初的政府投入导致了今天Internet的成功"。西欧和日本对信息科学技术亦均给以高度重视和大力投入，东南亚经济的腾飞以信息技术为龙头，也曾取得很好的效果。

作为现代科技发展的见证人，我们每天都感受到微电子和通讯技术的新进展。微电子加工技术分辨率已达微米量级，开始需要考虑量子效应；世界正以每秒一公里的速度铺设光缆；通讯技术发展日新月异；计算机芯片速度按摩尔定律迅速提高，而大规模并行系统的出现要求新的体系结构，"非冯·诺易曼机"的理论和实践均已提上日程；为了进一步提高速度、密度和容量，量子、超导和生物(DNA)计算机等新的运算机制已接近实用。海量信息处理和信

息采掘,演化计算和演化编程,传统NP难搜索及优化问题的解决,大型复杂对象仿真,以及更加友好的人机界面,等等,这些都为新一代控制科学的发展提供了强大的物质支持,也提出了新的挑战。

人类当前面临的重大问题涉及自然探索,高新科技发展,物质财富生产,国防尖端和基础设施建设,社会管理和经济贸易,全球问题乃至人类自身行为和智能活动等等方面,均富挑战性。其中无论人的因素,客观对象,还是以计算机和通信网络为代表的各种技术工具,都是十分复杂的,它们之间相互作用形成的复杂系统控制问题正是当前控制科学的主要课题。

面对过于复杂或非良结构的问题,高复杂度的信息处理和优化技术导致了仿生或拟人的智能化方法的应用。新型的计算机可以处理图象、语言等复杂信息,可对数据、符号进行定性的、模糊的推理和判断,可以处理和使用“专家知识”来解决复杂而困难的问题。以往基于精确数学模型严格推理求解的理论受到了有力的挑战。这里也包括模式信息处理和识别,基于计算智能或“软计算”以实现适应、学习、容错、重组等更复杂、灵活的智能控制系统。自动化系统的构成还包括各种传感器、通讯网络和执行器,目前还广泛采用多媒体信息融合、软测量等新技术,以提高自动化和智能化的水平。

与其他学科分支相比,系统与控制学科的发展更多地受到实际问题的推动和启发。当前需求特别强烈的领域有:工业企业的管理和控制,如离散或流程工业的计算机集成制造系统,航空航天,交通工具,武器运载,机器人等运动物体控制问题,通信网络,电子化军事指挥系统,等等。反过来,系统控制科学的发展也受到通信、计算机等相关学科的强烈影响。例如,关于知识和智能的研

究，控制系统仿真和CAD，基于通信网络或Internet的分布式控制系统，等等。它们将为复杂系统和复杂巨系统及其控制问题的研究不断提供强大的技术支持和需求推动。这一切对于新时代系统与控制科学的发展既是挑战，也提供了无限生机。

控制论通过对系统运动规律的认识，能动地运用有关的信息并施加控制作用以影响系统运行行为，使之达到人类预定的目标。控制论是系统研究中最接近实际应用的学科分支，特别具有改造世界的品格。钱学森的工程控制论首先解决了一批工程实际中的控制论问题。同时，在不断探索各种复杂性层次上系统运动规律的基础上，密切结合我国国防和政治、经济建设的需要，提出和解决了大系统、复杂系统和复杂巨系统的组织管理和控制中的大量理论和实践问题。由于他渊博的知识，科学的世界观和丰富的实践经验，从文中介绍的发展现状可以看到，他在控制论方面的贡献也明显高于国内外同行。

今天人类进入信息时代，系统和控制科学技术在改造大自然和信息社会的国际竞争中具有关键的作用，它将关系到国家乃至全人类的命运。研究信息科学的集成体系，形成从基础科学到工程应用的、实证的信息与控制科学体系，肯定需要不同行业、不同学科从基础研究、技术科学到工程应用多层次的千军万马的协同奋斗，才能真正建立起来。这可能还需要几代人的献身努力，而这一过程也必将对我国和全人类做出更重大的贡献。[1]

参 考 文 献

1 H. S. Tsien, Engineering Cybernetics, Mc Graw-Hill, New York, 1954;(1956年获中国科学院自然科学一等奖)；俄译版，1956；德译版，1957；中译版，

1958。

2 钱学森著，戴汝为、何善堉译:《工程控制论》，科学出版社，1958。

3 钱学森、宋健:《工程控制论(中文修订版)》，科学出版社，1980。

4 钱学森、许国志、王寿云:《组织管理的技术——系统工程》,《文汇报》1978.9.27,13版。

5 钱学森:《大系统理论要创新》,《系统工程理论与实践》，1986(1),第1页。

6 宋健:《21世纪的控制》,国际自控联(IFAC)第14届世界大会大会报告，1999.7。

7 黄琳、秦化淑、郑应平、郑大钟:《复杂控制系统理论:构想与前景》,《自动化学报》,19卷2期,1993(3),第11—16页。

8 郑应平:《复杂系统及其控制理论、21世纪初科学发展趋势》,科学出版社,1996,第342—344页。

9 黄琳、郑应平、张迪:《李雅普诺夫第二方法和最优控制器分析设计问题》,《自动化学报》,2卷4期,1964(4),第202—218页。

10 R. Tomlinson, et.al., Rethinking the Process of Operational Research and Systems Analysis", Pergamon Press, Oxford, 1984.

11 《国家自然科学基金委员会自然科学学科发展战略调研报告》,《自动化科学与技术》(郑应平执笔),科学出版社,1995。

第4章　钱学森与系统科学

20世纪70年代末，钱学森卸下领导中国航天科技事业这副光荣而艰巨的担子，以纯学者的面貌出现在公众面前，以惊人的活力纵横驰骋，在众多科学领域中都有令人瞩目的建树。近二十多年中，他所涉猎的学科范围之广，思想之活跃，创造力之丰沛，令当今中国学术界佩服。在他着力倡导和推动的诸多新兴研究领域中，钱学森用力最多、成就和影响最大的首推系统科学。本章力图采用历史和逻辑统一的方法，努力揭示出他在这个领域辛勤耕耘的心路历程和思想发展的脉络，概述他的主要成就，力求引出一些对系统科学发展的有益启示。

4.1　中国系统科学的导师

钱学森研究系统科学的起点在哪里？一种流行的观点认为，“钱学森对系统科学的工作可以追溯到1955年”[1]，根据是他在这一年把运筹学的种子带回国内。这似乎值得商榷。只要承认控制论是系统科学的一个分支，其重要性不在运筹学之下，而钱学森在这里有举世瞩目的贡献，那么，最迟也应当把这个起点定为他开始研究工程控制论的1950年。

如果说50年代的钱学森还只是某个分支学科的系统科学家，那么，70年代末“二次出山”的钱学森已经跳出控制论这个局部，

站在整个系统研究群山之巅，尽览此一新兴领域的方方面面，形成关于发展系统科学的独特战略思想，对系统科学的不同层次、不同学科都有了独到的见解。

近20多年来系统科学在中国的迅猛发展，客观根源当然是中国社会的空前大发展。钱学森就曾指出："推动系统科学研究的是现代化组织和管理的需要"[2]。但是，"算事业，须由人做。"80年代掀起的全国性系统研究高潮（有人称之为"系统热"），对系统科学在中国奠定基础和后来的巨大发展起了重要作用。它的起点是1978年钱学森、许国志、王寿云在《文汇报》发表的《组织管理的技术——系统工程》一文（收入《论系统工程》一书）。以钱学森的辉煌科学技术成就所形成的巨大感召力为背景，这篇文章吹响了中国科学技术界学习、应用、研究系统科学的号角，掀起一场空前的系统运动。钱学森不仅是这场系统运动的主要倡导者、指导者，提供了持续的推动，做了大量的宣传组织工作，而且是最具有创造力的研究者，是新概念、新思想、新方法、新思路的主要提出者。包括有关系统研究的外文著作大量而持续地翻译出版，都得力于钱学森的推动和他的巨大名望。

钱学森对中国系统科学发展的贡献是全面而巨大的，主要有：(1)总结和推广我国航天系统工程的实践经验，提出一套具有中国特色的系统工程理论；(2)阐明系统科学的体系结构，为中国系统科学的发展提供了指导思想和行动指南；(3)提出建立系统科学的基础理论——系统学的学科任务，深入探讨系统学的研究对象、学科特点、建立途径等，提出一系列指导性意见；(4)制定开放的复杂巨系统理论粗框，使我国的复杂性研究在世界上独树一帜；(5)提出建立系统科学的哲学即系统论的学科任务，对如何完成这一任务发表了许多原则性意见；(6)团结和培养了几代从事系统科学和

系统工程研究的学者,形成一支庞大的队伍,指导他们在系统科学的不同层次和不同分支开展广泛的研究,并大量应用于解决实际问题,对我国改革开放和社会主义建设的伟大事业做出重大贡献;(7)坚持以马克思主义哲学指导系统科学的发展,不仅以极大的热情宣传这个原则,而且身体力行,取得切实的成果,为系统科学界树立了一个好榜样;(8)探讨把系统科学原理和方法应用于其他10大科学技术部门的可能性、必要性和可行途径,对我国科学技术各方面以至社会实践的发展都产生了积极的影响。

这一切,导致形成一个具有显著特点的系统科学的中国学派,也就是钱学森学派[3],使中国在世界系统科学界占有重要地位。钱学森是中国系统科学当之无愧的导师,系统研究大军的核心,是中国系统科学界迄今为止真正有世界影响的惟一科学家。

4.2 系统科学体系的钱学森框架

70年代末的系统科学,既拥有众多的学科、丰富的内容,显示为一个巨大而欣欣向荣的领域;又存在明显的术语混乱、概念混乱、学科划分混乱,不成其为科学体系。为改变这种面貌,钱学森运用系统思想,特别是整体性、有序性、动态性观点,考察和疏理这个领域,把它整合为一个高度有序的知识系统。他在这方面的贡献主要有以下几点:

4.2.1 关于学科命名。系统科学一词出现于20世纪60年代。贝塔朗非第一次使用这个术语大约在60年代末,还特别地加上引号,表示尚在斟酌。70年代以后,系统科学一词开始在国外流行起来。但钱学森决定采用这个概念是很慎重的。1978年的那篇宏文已经在思考整个系统研究的体系问题,划分为工程技术、

科学理论和哲学三个层次,却没有提及系统科学。在其后的一年多里,为确定系统工程的学科归属和指导它的科学理论,他考察了由系统工程所带动的一系列科学发展,如系统分析、系统研究、系统工程、运筹学、控制论、信息论、管理科学、费用效果分析等,评估整个领域的现状,预测其发展趋势,学习恩格斯对系统概念的哲学论述,思考建立系统科学体系的提法是否符合马克思主义认识论,终于认识到"我们应该回到系统这一根本概念,采用'系统科学'这个词"[2],发出"大力发展系统工程,尽早建立系统科学的体系"的号召[2]。由此开始,中国学术界形成了千军万马研究系统的壮阔局面

4.2.2 阐明系统科学在现代科学技术体系中的地位。西方学者虽然早于钱学森提出系统科学概念,但对于它的研究对象、特征、在现代科学技术体系中的地位、与其他科学部门的关系等都缺乏清晰认识。他们跳不出按照研究对象划分学科的传统观点,对系统科学归属自然科学还是社会科学、或者算做交叉科学争论不休。钱学森指出,一切科学部门都以客观世界为研究对象,按照对象划分学科的传统做法不科学,提出应以观察客观世界的不同角度来划分学科。依据这个观点,他把现代科学技术划分为11大部门,判明系统科学是不同于自然科学、社会科学、数学科学的另一大部门,尽管它所处理的问题有自然界的,也有社会的,五花八门,但又是统一的,"统一在系统的观点"[2]。钱学森由此给出这一学科的正确界定:"系统科学的特征是系统的观点,或说系统科学是从系统的着眼点或角度去看整个客观世界"。[2]

4.2.3 构筑系统科学的体系结构。鉴于系统研究的迅猛扩张和混乱局面带来的问题,从60年代末起,系统理论家就着手构筑它的学科体系以消除乱相。其中有影响的主要是贝塔朗菲纲领、市川惇信角塔和钱学森框架,如图4-1、4-2、4-3所示,我们

曾有较详细的分析比较[4]。其实，贝氏与市川都没有真正理清系统科学的体系，认识仍然混乱，科学性不够。贝塔朗菲关心的是三个研究领域之间“在意向上”的区别[5]，把系统技术放在系统科学和系统哲学中间，掩盖了它们之间的层次区别和联系。市川构筑的体系强调了层次划分，但这些层次的含义不清，无法给现有的学科分支以恰当的归属，且对系统科学进一步发展缺乏指导作用。真正成功的是钱学森，其贡献在于：(1)用“三个层次一个桥梁”[2]的框架揭示出这个新学科固有的有序结构，使系统科学成为一个有准确含义的科学概念；(2)40年代产生了一批研究系统现象的学科，都是系统科学这个知识系统的构件，尚未找到把它们有序地组织为一个有机整体的方式，因而还属于一种非系统的存在，一个学科群而非学科体系。从非系统到系统，从低度有序的系统到高度有序的系统，是事物演化的基本途径，系统研究也不例外。从60年代以来，系统研究领域相继出现了三次大的整合运动。第一次是贝塔朗菲，试图用一般系统论框架实现这种整合。第二次是哈肯，试图用协同学框架实现这种整合。但他们都未成功。钱学森框架的提出标志着这一整合工作的完成，终于使几十年来“人各一词，莫衷一是”的混乱局面澄清为“分门别类，共居一体”的有序知识体系，系统科学从此成为一个名符其实的现代科学部门；(3)钱学森框架对系统科学的进一步发展有预测功能(如看出基础科学和桥梁都是空白)和重大指导作用，同国外比较，中国学派的特点和优势首先在于有此框架做指导。

4.3 建立有中国特色的系统工程理论

严格地说，钱学森关于系统科学的探索是在美国加州理工学

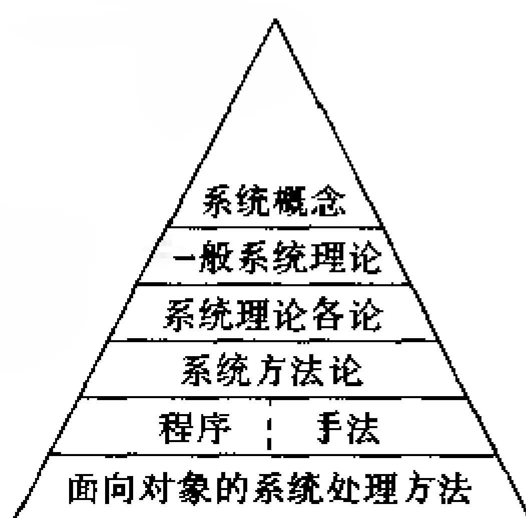
系统科学

系统技术

系统哲学

贝塔朗非纲领

图 4—1



市川惇信角塔

图 4—2

哲　学	马克思主义哲学
桥　梁	系统论
基础科学	系统学
技术科学	运筹学 控制论 信息论 事理学
工程技术	系统工程 控制工程 信息工程

钱学森框架

图 4—3

院学习和工作时期从研究航天系统工程起步的。抱着科学技术救国理想出国留学的他，选择了应用力学，同时热衷于火箭研究，终于成为美国航天科技的重要奠基者之一。航天科技属于典型的大科学、高技术，需要组织成千上万科技人员协调工作才能成功，因而是产生系统工程这种组织管理技术的良田沃土。他曾供职过的加州理工学院喷气推进实验室（JPL，钱学森曾长期担任其顾问）和喷气推进中心（JPC）是美国航天系统工程的发源地，据该中心第二任 Goddard 讲座教授匹克林回顾[6]，钱学森担任哥根海姆实验室领导职务期间（40年代末），恰是 JPC 发展系统工程的时期。作为 JPL 的顾问、JPC 第一任主任和 Goddard 讲座教授的钱学森，无疑是其中的重要角色。

钱学森的系统工程思想虽然孕育在美国，却是在中国真正确立起来并走向成熟的。作为中国航天科技的主帅，钱学森所得到的系统、全面、长期运用系统工程解决问题的实践机会是他人无法

比拟的，更是他如果继续留在美国所不可想象的。在此期间，他密切注意国外同行在这方面的技术创新，及时引入我国的航天研究中。例如，从苏联引进总体设计部方法，从美国北极星导弹研制中引进计划协调管理技术，并根据我们自己的经验加以检验、补充、修正、发展。中国发展航天科技的特殊困难和问题，向这支队伍的组织管理提出尖锐挑战，只有创造性地应用系统工程方法才能解决。钱学森处于中国航天事业科学技术和组织管理方面的矛盾中心，各种信息的汇集地，中国航天事业的极大成功使他积累了最为丰富而独特的实践经验。这个时期的钱学森虽然无暇做系统的理论总结，但勤于并善于对工程实践进行理论总结的他必定有许多理论思考。关于这一点，从他在那个时期公开发表的少数几篇文章中，如发表于《科学通报》1957 年第 4 期上的《论技术科学》和发表在《红旗》1963 年第 22 期上的《科学技术的组织管理工作》等，可以得到有力的印证，前者讨论技术科学与工程技术的关系(文中谈到运筹学和系统工程)，后者是一篇阐述科研系统工程的文章。笔者当时也在他的麾下奋战，虽是芥豆之微，极少有机会直接聆听他的谈话、报告，但仔细回想，仍然可以搜索到一些印记来证实这一点。

1978 年以后，钱学森从国防科技工作主要领导岗位上逐步退了下来，重新转向学术理论研究，第一项工作就是对中国航天系统工程的实践经验进行理论总结。从 1978 年《文汇报》的那篇被公认为中国系统科学发展第一个里程碑的著名文章开始，他在短短几年中发表了一系列文章、讲演、书信，以饱满的热情宣传和推广系统工程，策划建立有关研究机构和教学基地。从那时以来，中国系统工程获得极大发展，形成一支庞大的研究、教学和应用队伍，对中国经济、政治、科技、文化、军事、体育等方面的建设，对国家改革开放的大业，都起到不可低估的作用。这一切成就都与钱学森的努力分不开。

最值得我们回顾的是他有关建立系统工程理论的工作。钱学森以清除国外同行有关系统工程的混乱认识为切入点，对系统工程的产生背景、发展历史、研究对象、主要内容、学科性质和归属、指导理论、应用前提、社会意义、存在问题、发展方向等作出深入的分析论证，形成具有中国特色的系统工程理论。鉴于其内容丰富多样，我们将另有专文论述。这里只讨论这种中国特色的来源。在我国，从航天系统工程到其他领域的系统工程，都只能立足于中国的国情(特定的经济基础、工业水平、人才储备等)，用系统工程解决中国的实践问题，又从这种实践中取得进一步发展系统工程的问题和经验材料。中国是社会主义国家，钱学森从准备回国时就在思考把系统工程的应用与社会主义制度的特点协调起来。这些是中国特色的社会来源。与西方系统工程界不同，钱学森坚定地信奉马克思主义哲学，坚持用辩证唯物主义指导系统工程，尤其重视运用《实践论》、《矛盾论》等著作。这是中国特色的哲学来源。钱学森特别看重中国共产党创造的民主集中制原则，视之为系统工程的精神实质，认为毛泽东等成功指挥的三大战役就是极为出色的系统工程实践，只不过他们当时不可能运用数学模型方法和电子计算机这种工具。对于中国传统文化，钱学森那一辈科学家大多都有比较雄厚的家学渊源，对中华民族自古以来长于整体思维、重视和谐协调的传统深有了解，在制定系统工程理论时又认真总结中国历史上应用系统工程方法的成功范例(如都江堰水利工程)。这是中国特色的文化来源。此外，钱学森不是代表一个人，推动中国系统科学发展的是“钱学森加大家”[7]，钱老是中国系统工程集体的代表，他的理论总结也是这个集体的智慧结晶，是他们共同铸造了这种中国特色。

在钱学森探索系统科学的过程中，有几次重要作为都缘起于

许国志致信于他时提出的问题、求教、想法和建议①。在中国学者中，许国志大概是少数最了解钱学森的人之一。他认为："系统工程的兴起和发展是时代的要求，任何一件事物在一个国家的发展都要符合该国的国情，……即使数学这一纯理论学科也不例外，何况系统工程。"[8] 这个论述有助于我们理解本节的主题。

按照钱学森的观点，系统工程不是一门技术，而是由众多部门组成的一大类技术。对于其中的军事系统工程、法制系统工程、教育系统工程、科研系统工程、农业系统工程、情报系统工程等等，他都有专文论述，是钱学森系统工程理论的重要组成部分。这些论述既有系统工程的一般特征，又都立足于中国特有的国情，因而具有明显的中国特色。

4.4 对控制论的新思考

历史地看，钱学森在系统科学中的显赫地位首先是由他在控制论方面的业绩确立的。在被迫滞留美国期间，他吸收维纳名著《控制论》中那些能够直接用于工程设计的内容，吸收伺服系统理论的既有成果，结合第二次世界大战中发展起来的控制与制导工程技术的实践经验（包括他本人在喷气推进和火箭技术研究中的有关系统控制的经验），写成《工程控制论》一书。此书出版后产生的世界性影响表明，钱学森理应属于控制论的创立者之一，他在这

① 例如，1978年5月许国志致信钱学森，提出清理国际上系统研究中术语混乱的问题，引出当年《文汇报》的那篇文章。又如，1980年秋，许国志致信钱学森，送去R Rosen纪念贝塔朗菲的文章，使钱学森"大开眼界"，从此走出系统工程、运筹学、控制论的范畴，了解了普利高津、哈肯、艾根、托姆等人的工作，对系统学的理解达到一个全新的高度。

一领域的影响不亚于英国控制论专家艾什比。这也就奠定了他在系统科学早期发展中的重要地位。

学术界对《工程控制论》早有崇高评价：它的传播帮助维纳摆脱“反动分子”“伪科学家”的形象，使世界科学界迅速接受了控制论这一新学科[9]（宋健）；开控制论学科分支化的先河[9]（杨嘉墀）；已经触及系统学问题（许国志等：《论系统工程》前言）。我们赞同这些看法。这里欲补充另一些重要而被忽视的方面。(1)60年代勃兴的现代控制论是控制科学最引人入胜的成就，但稍加比较就会发现，《工程控制论》乃现代控制论的滥觞。(2)由于维纳著作未指明系统是控制论的根本概念，可能使读者把它当做一个一般术语，模糊了控制论属于系统科学这一特征。而钱学森在50年代初就指明：“控制论所讨论的主要问题是一个系统的各个不同部分之间的相互作用的定性性质，以及整个系统的总的运动状态”[10]。这话包含了把控制论划归系统科学的思想萌芽，对控制概念的刻画超越了技术科学，已接近于基础科学。(3)维纳把信息与物质、能量区分开来，强调控制问题的关键是环绕着消息概念而不是电工技术，从而揭示出控制论与自然科学性质上的区别。钱学森从另一方面发现了这种区别，指出：“这门新科学的一个非常突出的特点就是完全不考虑能量，热量和效率等因素，可是在其他各门自然科学中这些因素却是十分重要的。”（同上）1978年作了进一步发挥，在说明相对论和量子力学是关于物质运动的基础理论之后，钱学森指出：“控制论则不然，它的研究对象似乎不是物质运动”，“而是代表物质运动的事物因素之间的关系”[11]。这些言论表明，钱学森那时的思想已经超越了控制论，获得对一般系统思想和方法的深刻理解。这对他20多年后关于系统科学的探索深有影响，80年代以来钱老在系统科学方面提出的许多新思想是《工程控制论》的合乎逻辑的发展。

回国以后的钱学森没有再从事控制论的具体研究，但仍在关心它的发展，除指导宋健等人撰写《工程控制论》修订版外，还提出许多对控制论的进一步发展很有价值的意见：(1)明确控制论也是系统工程的理论基础；(2)指出目前的控制论主要研究无人参与的自动控制，把人包括进去的通用理论还没有建立起来；(3)提出把技术科学层次的控制理论称为控制学，并作出这样的界定："控制学，那是讲系统成员关系的人为调控以达到整体运行的优化"[12]，这样的控制学显然应是前述尚未建立的、把人包括进去的通用理论，这就为控制科学界指出一个重要的研究方向；(4)明确了几十年来控制论的研究对象是小系统和大系统，今后的控制论应"向巨系统方向推进"[2]；(5)在判明控制论属于技术科学之后，提出一种设想："能不能更集中研究'控制'的共性问题，从而把控制论提高到真正的一门基础科学呢？"[11]起初，他把这种基础科学称为理论控制论，后来明确了这就是系统学(按照本章笔者的说法，理论控制论应属于系统学的他组织理论)；(6)提出应当"跳出就大系统论大系统"这个重要的方法论观点，批评"跳不出也是国内外搞大系统的人的通病"[13]。推广开来，我们应当跳出系统看系统，或者跳出运筹学看运筹学，跳出系统科学看系统科学。事实上，钱学森本人正是由于跳出系统工程看系统工程才走向系统科学和系统学，由于跳出系统科学才理清系统科学的体系结构和发现存在缺环。

4.5 从运筹学到事理学

1954年9月，在送别留学加州理工学院的郑哲敏回国时，作为导师的钱学森特别叮嘱他回国后"要极力宣传"运筹学，并说："一个社会主义国家，在如何进行科学管理，加强计划性方面，运筹学起着

重要作用。"[14]这表明,回国之前的钱学森在研究控制论的同时也密切关注着运筹学,对这门在美国也刚刚开始研究的新学科的性质、功能、成功应用的社会条件等已有深刻的理解,开始考虑如何把运筹学带回祖国的问题。据笔者的了解,钱学森没有发表过有关运筹学具体内容的专门论著,他对中国运筹学的贡献,首先在于宣传和组织运筹学的研究和应用。1955年回国后,他受命组建科学院力学所,由许国志负责的运筹学是它的六个研究室之一。中国运筹学能有今天的成就,与钱学森的大力推动分不开,此乃学术界公认的事实。所以,把1955年定为我们国内系统科学发展的起点倒是合理的。

尽管运筹学创立已近60年,关于它的学科性质、与系统工程的关系等问题,在它的发源地英、美等国仍然存在许多混乱认识。1978年以后,钱学森着手消除这种混乱,理清了运筹学和系统工程的区别和联系。他主张把有关的数学理论划归运筹学,把有关的工程实践内容划归系统工程,由此正确地确定了二者的学科层次:在系统科学中,系统工程属于工程技术层次,运筹学属于技术科学层次,它给系统工程提供理论指导(包括具体算法),又从系统工程中发现新问题,吸取"原材料"发展自己。这些新观点的提出,引导我国运筹学和系统工程进入了有序发展的新阶段。

1939年,英国科学家把他们在雷达系统有效使用方面创造的新方法命名为Operational Research(美国人后来改称Operations Research),反映那个时期认识的肤浅和狭窄,未能把握运筹学的本质特征。我国最初译为运用学,也表明了这一点。后来改译为运筹学,表明认识的深化,但仍然不能明确反映运筹学研究的不是物质运动本身,而是代表物质运动的事物因素之间的关系这个性质,因而没有揭示出运筹学与自然科学的根本区别所在。

善于从整体上把握事物,善于用哲理眼光审视科学研究,使钱

学森比一般运筹学家更易于洞察运筹研究的深层本质。前述他对控制论的卓越认识迟早会推广到运筹学。果然，在1978年的那篇文章中，他们提出"事理"这个崭新的科学概念[2]，在科学上第一次区分了物理和事理。物理即物质运动的规律，事理即人们办成办好事情的规律。物有物理，事有事理。运筹属于事理，运筹学属于有关事理的科学，它所研究的不是物质运动和能量转化，而是事理运动。运筹学是办事的理论，系统工程是办事的技术。这就透彻地揭示出运筹学区别于自然科学、系统工程区别于传统工程的本质特征。这些新的概念和观点应是70年代以来钱学森对运筹学最重要的贡献，比提出某些具体算法更有长远价值。

规划、排队、有效使用、策略性竞争等都属于事理问题，运筹学给它们制定了有效的数学理论。但人类要处理的事理问题远不止这些，其中大多属于所谓"结构不良"问题，无法靠运筹学来解决。可见运筹学不等于事理学，它们属于系统科学的两门技术科学。钱学森考察了这个问题，给出界定："运筹学，那是在一定外部规范及信息条件下，使系统取得最佳运行的学问"，"事理学，那是专门研究系统内部各种运行的条件和法律、法规，目的是使系统运行优化"。又说："运筹学和事理学都是利用环境以求最佳效益，不同之处在于运筹学是即时效益而事理学是长时期的效益。对一个系统的多次运筹考虑后也自然会发现事理学性质的启示。"[12]虽然这些见解还是初步的，有待深入分析论证(如法律应是法学的研究对象)，但无疑是新颖独到的，极有开发价值。由此引发了国内学者对事理学的跟踪研究，开辟了又一个前景可观的科学新领域：如张锡纯关于工程事理学和源事理的探索，顾基发、朱志昌提出物理—事理—人理方法论。

70年代，国外运筹学界提出"OR向哪里去?"的问题，议论纷纷，莫衷一是。钱学森的上述思考给出了他对这个问题的回答：

"向巨系统方向推进"[2],向事理学推进,向系统学(早期称为理论运筹学)推进

4.6 建立系统学的艰难探索

通过对系统工程的理论总结,钱学森认识到作为系统工程理论指导的运筹学、控制论、信息论都是技术科学,理论层次还不够高,提出在它们之上是否还有更深刻的理论的问题。另一方面,在明确了这些学科都属于系统科学之后,再用他的"三个层次一座桥梁"框架看,发现系统科学的体系结构很不完整,最关键的是基础科学层次还是空白。他把系统科学的基础科学命名为系统学。从1980年至今的21年中,建立系统学的努力一直是钱学森学术活动的中心,可大致分为三个阶段。

1980年至1985年是第一阶段,主要工作是判明系统学的学科性质、任务、建立它的必要性和可能性,探寻系统学的构筑材料和建立途径。起先是从科学体系的层次结构看,认识到系统学的建筑材料需要从系统工程、特别是技术科学层次的运筹学、控制论、信息论中发掘,因为一切科学部门(如自然科学)的基础理论都是对应用理论进一步概括提升的结果。最初所谓理论控制论、理论运筹学和理论事理学就是这样提出来的,反映了他在那个时期对系统学的理解。进一步是走出系统工程,到更大范围考察,发现生物学、物理学、数学等基础科学已有许多人从事系统理论研究,提出了一般系统论、耗散结构论、协同学、超循环论、突变论、微分动力体系、混沌论等。他从这一态势中极大地深化了对系统学的理解,看出了建立系统学的客观条件已经具备,系统学的构筑材料已相当丰富,认识到建立系统学已是时代交给我们的任务。基于这

些认识，钱学森指明了建立系统学的途径：把所有这些理论成果融会贯通，综合起来，用所谓“框架法”[2] 形成一个有序的概念体系，就是系统学（他曾以写作《工程控制论》和《物理力学讲义》的经验来说明这一点[15]）用钱学森自己的话来说，到1981年，他的头脑里已经“有了一个系统学的形象轮廓了”。[2] 在此后的几年中，他一方面不断地“做点‘催化工作’”[16]，如提出把H. Frohlich运用激光理论研究生命现象的工作、威尔逊的重整化群理论等吸收到系统学中；一方面，思考如何组织力量着手建立系统学。例如，他曾建议中国系统工程学会“组织一个从事系统学研究的委员会”[16]。可惜的是，这个建议一直未能得到响应。

第二阶段从1986年到1990年，在上述认识基础上，发起成立系统学讨论班，开始有组织地研究系统学。小讨论班由我国系统科学界的几位著名中青年学者（朱照宣、于景元、郑应平、周政、姜璐、董镇喜等）组成，在钱学森亲自指导下负责撰写《系统学》一书。在自由参加的大讨论班上请各方面专家报告，然后集体讨论，目的是开阔思路，收集材料，发现问题，争鸣辩论，相互启发，最后由钱学森总结，提炼新思想。讨论班取得很多理论成果，如区分了两类巨系统，给出新的系统完备分类，提出开放的复杂巨系统等概念，明确了系统学包含简单巨系统学和复杂巨系统学两部分，等等。令人惋惜的是，由于某些原因，《系统学》一书未能写出来。但系统学第一个写作班子的成绩是显著的，应予充分肯定。在他们辛勤工作的基础上，经过钱学森的总结提炼，才有了今天熟悉的那些概念。例如，“从定性到定量综合集成”这个概念，就是在那个时期通过多次报告，反复介绍、讨论国内外有关研究成果之后，经钱学森概括，在致朱照宣的信中首先提出来的[17]。

这个系统分类是系统学讨论班头两年工作成果的结晶，代表

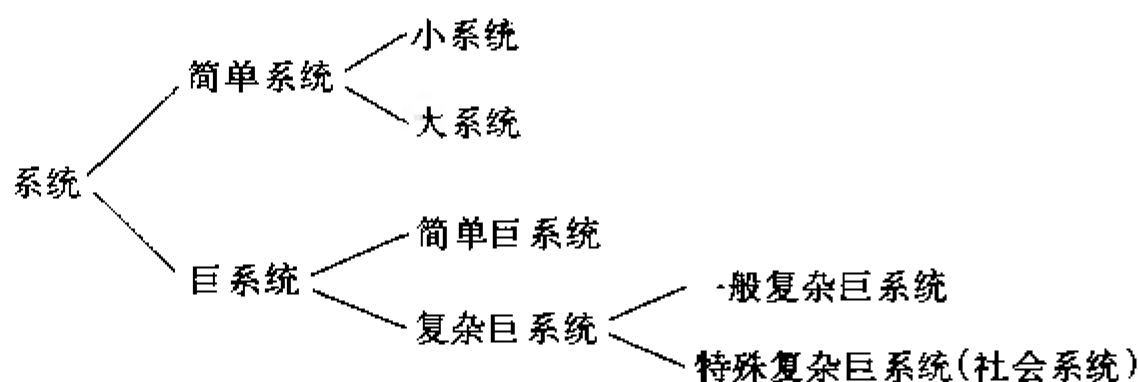


图4—4　系统的一种完备分类

钱学森系统思想的一次飞跃。在他的指导下,由系统学的第一个写作班子集体讨论,写成题为《社会系统研究的方法论》一文,署名席彤于系统学讨论班成立的第一个年头公开发表[18]。这是中国系统科学发展史上一个重要的阶段性理论成果。令人遗憾的是,至今几乎没有人提到它,现在是还其本来面目的时候了。

如果把钱学森从80年代至今研究系统科学的行程作为一种系统演化过程,那么,1987年明确了巨系统应划分为简单的与复杂的两大类,得出关于系统的完备分类,是这个系统演化过程中的一个重要分岔点。从此以后,开始走上探索建立系统学的新路径。并于1990年重组写作班子,全力开展建立开放的复杂巨系统理论的工作——这就是我们所说的第二阶段。

4.7　在复杂性研究中独树一帜

在钱学森致力于建立系统学的同时,国外的复杂性研究正走向高潮,形成世界科学前沿的一大热门话题。钱学森迅速捕捉到这个有重大意义的新动向,在国内率先发起复杂性研究,走出一条颇具中国特色的复杂性研究道路。主要表现在以下几点:

4.7.1 从系统学走向复杂性研究。 国外不同学者或学派沿着各自的道路走向复杂性研究。钱学森是通过系统科学及其应用的研究，特别是关于建立系统学的探索，逐步走向复杂性研究的，始终把复杂性作为一种系统属性来对待是他有别于国外复杂性科学家的显著特点之一。他在这方面的思想发展历程可以概括为系统概念的三次飞跃：

基本观点	概念演进
a 用系统概念认识和处理复杂性。这是系统科学界早期的共识。例如：贝塔朗菲说："我们被迫在一切知识领域中运用'整体'或'系统'概念来处理复杂性问题。"[2] 钱学森(78年以前)说："我们把极其复杂的研制对象称为系统"。[2] 他们都把系统与复杂性联系起来，似乎凡系统都是复杂的，反映了当时系统科学界对复杂性的认识尚不深入。	系统(1978年以前) ↓
b 用巨系统概念认识和处理复杂性。通过研究社会系统，钱学森发现一般的系统概念不足以描述和处理这里的复杂性，(79年)提出巨系统概念，多次讲过类似"十分复杂的系统，我称之为巨系统"[2] 的话，强调用这个概念认识复杂系统，总结有关经验。	巨系统(1979年) ↓
c 用复杂巨系统概念认识和处理复杂性。经过多年探索，复杂巨系统终于意识到(87年)"从前跟着外国人讲复杂性、复杂系统，现在恐怕要明确一下"[19]，认识到巨系统之间也有性质上的不同，提出简单巨系统和复杂巨系统的概念。	复杂巨系统(1987年) ↓
d 用开放的复杂巨系统概念认识和处理复杂性。进一步探索发现(89年)，实际存在的复杂巨系统的复杂性与环境有极大关系，过去对系统与环境关系的理解太简单，需要更加强调开放性，提出开放的复杂巨系统概念[20]。	开放的复杂巨系统(1989年)

4.7.2 给出复杂性定义。 国外学者给复杂性下的定义有几十种之多，各反映了复杂性的某些特征，其中有些很难说是真正的复杂性。钱学森根据中国学者的研究提出："所谓'复杂性'实际是开放的复杂巨系统的动力学"[21] 这个定义表面看似乎有以复杂定义复杂性的逻辑毛病，实际上这种毛病完全可以消除。规模巨大、元素和子系统种类很多、相互关系多种多样、按照层次结构组织起来(有时有哪些中间层次并不清楚)、与外部环境密切互动的系统的动力学特性，就是复杂性。同现有的各种复杂性定义比较，钱学森的定义内涵最丰富。

4.7.3 探索建立开放的复杂巨系统理论。 巨系统包括简单的和复杂的两种性质不同的类型，处理简单巨系统的方法不能解决复杂巨系统问题。这意味着系统学也由两大分支组成，一是简单巨系统学，二是复杂巨系统学。前者即多年来设想的通过综合概括运筹学、控制论、耗散结构论、协同学等系统理论而建立的基础科学层次的系统理论，即系统学讨论班头两年所走的路径。后者是基础科学层次的开放复杂巨系统理论，是系统学的核心部分，研究那些不可能用处理简单巨系统的方法来解决问题。明确了这一点以后，钱学森暂时放弃了建立简单巨系统学的努力，把90年代的工作集中到建立开放的复杂巨系统理论，提出从定性到定量综合集成研讨厅体系、大成智慧、大成智慧工程、大成智慧学等重要的新概念，总结出"从繁到简"[21]的建立系统学之路。

至此，汇集20年的探索终于有了一个关于系统学的理论粗框，其主要理论成果总结于王寿云等"六大将"撰写的《开放的复杂巨系统》一书中，其中钱学森的39封信尤为宝贵；应用研究方面最重要的事件，在民用方面是由戴汝为、于景元、顾基发牵头搞的"支持宏观经济决策的人机结合综合集成体系研究"的重大课题已被

国家立项。这是中国系统科学的重要进展。

必须强调指出，正是由于钱学森的上述努力，中国的复杂性研究得以和世界先进国家同步发展，且具有明显的中国特色。有些学者指认开放的复杂巨系统理论是“伪科学”，毫无事实根据，只能表明他们违背了科学精神。

4.7.4 几点评述。 这里还有必要对钱学森学派在复杂性研究方面的思想发展历程作一些说明和评论。在明确了处理简单巨系统的方法不能用来解决复杂巨系统问题、现代科学尚未提供这种方法之后，钱学森和系统学讨论班开始全力探讨处理开放的复杂巨系统问题的方法论。他们组织了一系列报告，介绍和评论国内外各种有关成果，进行理论发掘和创新。其中，为钱学森形成新的方法论思想提供了重要契机的是有关 meta-analysis（跨域分析）方法的研讨，直接启发他提出 meta-synthesis（综合集成）的概念。经过钱学森的总结提炼，这一阶段的成果发表于《基础科学研究应该接受马克思主义哲学的指导》一文中（1989）。该文第三节连注释不过两千多字，但极富原创性：第一次公布了开放的复杂巨系统和综合集成两个重要概念，提出建立开放的复杂巨系统理论的学科任务，预见到这将导致“系统科学涌现出来的一个大领域”，指出这是宏观层次上基础科学尚未解决的重大课题，概要地论述了他已多次提到过的“定性与定量相结合的处理开放的复杂巨系统的方法”[20]，强调完成这一研究课题必须以马克思主义哲学为指导。由于此文发表在国内哲学核心刊物上，一直未引起对哲学缺乏兴趣的科学家的注意。但这篇文章在系统理论创新方面超过了1978年《文汇报》的那篇文章。如果要指出中国系统科学发展的第二个里程碑，则非此文莫属。

1990年，钱学森、于景元、戴汝为合作在《自然杂志》上发表了

一篇著名文章《一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论》。本文虽未提出新的概念，但把上文的新概念、新思想比较充分地展开，是迄今对钱学森有关开放的复杂巨系统的理论观点最完整的阐述，对传播这一理论起了重要作用，产生了广泛的影响，以至于人们往往把它作为开放的复杂巨系统理论的开山之作，却忘掉了前一篇文章的原创性。

虽然钱学森早已提出“从定性到定量综合集成方法”这个新命题，但早期公开使用的是“定性与定量相结合的综合集成方法”这一提法。1991年，在《再谈开放的复杂巨系统》一文中，钱学森对上述两篇文章作了重要补充：强调“研究开放的复杂巨系统要有正确的指导思想，那就是马克思主义哲学思想的指导”，最终决定以“从定性到定量”取代“定性与定量相结合”[22]，指出从定性到定量综合集成技术是思维科学的一项应用技术。

按照系统演化理论，一个给定的系统在新的分岔点上面临多种可能演化途径有待选择，即系统需要在多种可能的对称破缺方式中加以选择、锁定。对于简单巨系统，未来有哪些可能途径在系统到达分岔点上时即可以完全确定。但复杂巨系统不可能是这样的，越过分岔点时系统有哪些可能途径可供选择以及如何选择，不是立即就可以完全确定的，必须在后来的演化过程中逐步解决。就钱学森派而言，由1987年那个分岔点开始的新探索究竟应当沿着什么路径走，在当时并不清楚。有了这三篇文章，钱学森学派的复杂性研究终于被锁定在一个明确的方向上——建立开放的复杂巨系统理论。当然，无论理论还是应用，迄今为止的成果都是初步的，但毕竟“有了第一步了！”[21]。有了第一步，不就应该走第二步了嘛！

4.8 探索建立系统科学的哲学——系统论

作为具有战略头脑的科学家，钱学森对马克思主义哲学能够指导科学发展抱有坚定的信念，这在他的系统科学探索中表现得尤其鲜明，并进而影响到中国系统科学界这个群体。同时，对系统科学进行哲学概括（他认为：“系统科学的哲学概括，就是系统论。”[7]）是钱学森系统研究的有机组成部分。

4.8.1 系统论的学科地位。 在70年代兴起的那股系统热中，哲学家特别是自然辩证法工作者是一支重要力量，做出许多成果。部分由于贝塔朗菲的《一般系统论》和维纳的《控制论》带有明显的哲学议论，加上信息问题本身具有深刻的哲学含义，部分由于哲学家的误解，国内学术界倾向于把系统论、控制论、信息论并列，都作为哲学理论，简称“三论”，后又出现“新三论”的说法。这是当时系统研究中的另一混乱认识，且是中国的土特产。钱学森旗帜鲜明地反对这种提法，反复论证“‘三论’的统一，统一在‘系统’”[23]，指出控制论、信息论是具体科学而非哲学，系统论是哲学，它们不属于同一层次。

钱学森把系统论界定为系统科学通向马克思主义哲学的桥梁：一方面，“马克思主义哲学是通过这个桥梁来指导系统科学的工作”；另一方面，“系统科学工作的实际得到的经验又概括总结起来，通过这个桥梁来深化发展马克思主义哲学，这个桥梁就是系统科学的哲学。”[7]系统论是系统科学体系中一个不可缺少的层次，系统论没有建立起来之前，系统科学的体系就不完整；没有系统论的指导，系统科学发展将受到制约。所以，无论发展系统科学，还是发展马克思主义哲学，都要重视研究系统论。

在钱学森的系统科学体系中，桥梁层次也存在缺环，系统论尚未建立起来。20多年来，建立系统论也是他关注的问题之一。

4.8.2　如何建立系统论　20多年来钱学森一直在思考这个问题，提出大量零星而很有价值的想法。一个总的指导思想是："要建立哲学的概括，我建议从历史上来考察，只有一个办法。这个办法就是查看现在存在的各种各样的说法，吸取里面正确的一部分。"[7]在当今世界，对系统研究进行哲学概括的大有其人，形成系统哲学、系统主义等诸多流派。钱学森的指导思想与他们有原则的不同。第一，明确宣布系统科学哲学必须以辩证唯物主义为指导。第二，研究系统科学哲学的重要目的之一是利用系统科学成果来深化和发展马克思主义哲学。第三，西方系统哲学家的哲学概括常常脱离系统科学的实际发展，直接对实际生活中的系统现象进行哲学分析，思辨性太强，钱学森则主张哲学概括要建立在系统科学的实际成果上。对于后一点，1981年钱学森关于"第三个台阶，系统学还没有搞起来，就要跨第四步了。稳不稳啊？摔不摔跤子？"[23]的发问，就是明证。

4.8.3　系统论的学科分支。　20世纪80年代，国内有大量论著探讨系统科学辩证法。针对这种情况，钱学森在一封信中写道："系统科学辩证法实是我所说的从系统科学到马克思主义哲学的桥梁——系统论的一部分。我看其中的重要问题是结构与功能，还原论与整体论等辩证关系。总之，不讲整体不行，只讲整体也不行。"[24]这个论断包含多方面的理论信息：确认"系统科学辩证法"这个概念，明确系统科学辩证法归属于系统论，指出系统论是一个理论系统，由不同的子系统（子学科）组成，除了系统科学辩证法，还应有别的分支。这些思想对于建立系统论是宝贵的。

说到哲学的分支学科，人们自然会想到本体论。贝塔朗非就

提出了研究系统本体论的问题。但钱学森认为，由于现代科学的巨大发展，世界的本质问题可以由科学完全讲清楚，哲学本体论失去了存在的意义[2]。所以，钱学森的系统论，作为一种哲学分论，无须讨论本体问题。当然，这只是一家之言。笔者认为，从系统角度思考世界的本体问题还是必要的。

钱学森的论著中没有提到系统科学认识论这个概念。但他对应用认识论来解决系统科学的发展和应用问题很重视，特别对《矛盾论》《实践论》情有独钟，从系统工程到开放的复杂巨系统理论，经常引用，还时有发挥。例如，从定性到定量综合集成法这个新概念中包含对辩证唯物主义认识论的重要新发展。这些论述还没有完全上升为哲学概括，且比较分散，有些提法尚需推敲，如果给以系统的哲学总结，将是系统科学认识论的重要构成成分。

在钱学森关于系统科学的哲学论述中，系统科学方法论的研究占据着极其重要的地位。作为科学家的他自然对科学方法论特别感兴趣，给予更多的关注，有更多的论述。其核心是对还原论的局限性的剖析，对整体论的合理内容的挖掘，力求将二者结合起来。“系统论是还原论与整体论的辩证统一。”[15]以这一经典性命题为指导，对他的有关论述加以总结、提炼、发挥，就可以形成系统科学方法论的基本架构。

总之，钱学森倡导的系统论是一个有特定研究对象、内容丰富的哲学子学科，至少包括系统科学辩证法、系统科学认识论和系统科学方法论三大分支。此外，钱学森的论著中还有许多关于系统概念的哲学分析，包括对恩格斯有关论述的评论和发挥。在辩证唯物主义指导下，从哲学地阐释系统概念入手，分别论述这三个分支，就可能把钱学森多年来论述系统论的大量“零金碎玉”科学地总结起来，初步填充系统科学体系中桥梁部分的空白，为完善系统

科学的体系迈出必要而且重要的一步。

4.9 问题与希望

综上所述，作为系统科学家，钱学森的科学探索遍及系统科学的所有层次，在每个层次上都有令人瞩目的工作；涉足系统科学的所有分支，在有些分支中做出过领先于世界的工作，在另一些分支中虽然没有具体的工作，但在科学思想和方法论方面提出许多极富启发性的论述。可以毫不夸张地说，像钱学森这样全方位的系统研究，在世界系统科学界是独一无二的。当然，在建立系统学方面，收获至今仍然是很初步的，系统学的特有概念尚未形成体系，完整的系统学著作尚未写出来，系统科学界仍然任重而道远。

在叙述了钱学森对系统科学的光辉贡献之后，我这里不得不说一个令人担心的问题。1998年夏在北京师范大学的一次学术会议上，我曾谈到"钱学森学派的危机：回顾20年来中国系统科学的历程，理论上的创新，即新概念、新思想、新方法的提出几乎都是钱老一个人的事（惟一的例外大概是顾基发等人提出的物理—事理—人理方法论），其他学者都处于传达和解释钱老观点的地位。这对于这个学派的未来发展极为不利。"今天我仍然坚持这个看法。须知钱先生已过米寿，早已应当颐养天年，不管世事。既然钱学森已率众走出开放的复杂巨系统理论的第一步，第二步就应当由他的学生们来走，学生不能苛求先生在理论创新上永远冲锋陷阵。然而，缺少钱学森理论创新的中国系统科学将如何发展？第二步如何走？这是我们必须认真对待的。

系统科学是一门有重大理论和实际意义的科学，与中国的现代化息息相关。有关部门应当给系统科学以足够的支持，应当重

视培养后备人才，应当团结各方面力量。年轻人应当有理论勇气，走钱学森的成功之路。钱学森在系统科学界的地位不是靠什么人封的，也不是人为树起来的，而是他自己"打出来的" 他指明了新领域，提出可以开展工作的新问题、新方法、新思想，别人自然就跟着他走

系统科学，不论是国内还是国际，前途都是光明的。这是因为世界系统化、社会信息化和环境生态化这一不可逆转的历史趋势，对系统思维和系统方法提出强烈的需求，形成巨大的推动；而大规模的、多种多样的系统实践又不断提供丰富的经验材料，成为发展系统科学无尽的认识泉源。让我们在钱学森先生等老一辈打下的坚实基础上，团结奋进，勇于创新，把中国系统科学的理论发展和实际应用继续推向前进。

参 考 文 献

1 王寿云等：《钱学森传》，《中国科学技术专家传略工程技术编（力学卷）》，中国科学技术出版社，1993，第 145 页。

2 钱学森等：《论系统工程（增订本）》，湖南科学技术出版社，1988，第 260、186、173、300、300、33、18、33、561、246、10、428、415 页。

3 苗东升：《系统科学精要》，中国人民大学出版社，1998，第 21—24 页。

4 苗东升：《系统科学原理》，中国人民大学出版社，1990，第 7—28 页。

5 冯．贝塔朗菲：《一般系统论——基础、发展和应用》，林康义、魏宏森等译，清华大学出版社，1987，修订版宣言、第 2 页。

6 《面向 21 世纪的系统科学与工程——许国志等答记者问》，上海，《文汇报》，2001 年 3 月 21 日，11 版。

7 钱学森：《用马克思主义哲学来指导系统科学的工作》，《系统工程理论与实践》，1992(5)，第 1—3 页。

8 许国志：《相期十五载，更上一层楼》，见《中国系统工程学会成立十五周年纪念特辑》，中国系统工程学会编，1995 年。

9 许国志主编:《系统研究》,浙江教育出版社,1996,第2、16页。
10 钱学森:《工程控制论》,科学出版社,1958,原序。
11 钱学森、宋健:《工程控制论(修订版)》,科学出版社,1980,序第XIV—XV页。
12 张锡纯:《工程事理学发凡》,北京航空航天大学出版社,1997,前言第4—5页
13 郭俊义:《试论系统论的创新问题》,《系统工程理论与实践》,1986(6),第13—17页。
14 祁淑英、魏根发:《钱学森》,花山文艺出版社,1988,第224页。
15 钱学森:《人体科学与当代科学技术发展纵横观》,人民出版社,1996,第184、361页。
16 钱学森:《对当前学会工作的两点建议》,《系统工程理论与实践》,1983(3),第1—3页。
17 钱学森1989年5月8日致朱照宣的信,见《开放的复杂巨系统》,第266页。
18 席彤:《社会系统研究的方法论》,《光明日报》,1988年3月24日,3版。
19 钱学森在系统学讨论班(1987年12月29日)上的讲话(笔记)。
20 钱学森:《基础科学研究应该接受马克思主义哲学的指导》,《哲学研究》,1989(10),第3—8页。
21 王寿云等:《开放的复杂巨系统》,浙江科学技术出版社,1996,第286、299、276页。
22 钱学森:《再谈开放的复杂巨系统》,《模式识别与人工智能》,1991(3),第1—4页。
23 钱学森:《系统思想、系统科学和系统论》,见魏宏森主编的论文集《系统理论中的科学方法与哲学问题》,清华大学出版社,1984,第16、17页。
24 钱学森致黄麟雏的信(1984年6月11日),见汪应洛、黄麟雏主编的论文集《系统思想与科学技术发展战略研究》,西安交通大学出版社,1985。

第5章　钱学森与思维科学

思维科学是钱学森院士在20世纪80年代初倡导建立的一个与自然科学、社会科学等并列的科学技术部门。在短短的20年中，虽然其理论体系尚在建立中，但已经参与了一些国家重大科研课题的研究，取得了一系列重要成果，并在科学技术、社会经济管理、教育改革等领域发挥了重要作用，其中的形象思维、创造性思维成为各个方面竞相研究的热点，显示出旺盛的生命力。这是钱学森为中国人民乃至全人类做出的又一卓越贡献。

5.1　倡导建立思维科学的背景

钱学森倡导建立思维科学并不是孤立的、偶然的，而是信息时代科学技术革命的迫切需要，既有广泛的国际背景，又有自身深厚的基础与国内根源。

1. 认知科学的产生与发展提供了宝贵的经验教训

认知科学产生于20世纪50年代中期的美国，到70年代末，创办了《认知科学》杂志，成立了“认知科学学会”，标志着认知科学已经成为一门新兴学科。

认知科学是以电子计算机的产生与发展为其物质、技术基础，以计算机与人脑相类比为其前提的。它有两个基本假设：物理符

号系统假设(PSSH)与启发式搜索假设(HS)。前者认为,任何系统,如果具备输入符号、输出符号、存储符号、复制符号、建立符号结构与条件性转移这六种功能,那么就表现出智能;反之亦然。后者认为,一个要求具有一定智能加以解决的问题,要通过在一个问题空间(即问题表达)中,用有选择的搜索加以解决。这是认知科学的两块基石 著名认知科学家H.Simon教授则进一步地将其概括为:

认知科学=认知心理学+人工智能

其中,“前者(认知心理学)着重研究利用计算机仿真技术建立人的认知模型;后者(人工智能)着重研究如何运用人的知识经验使机器、首先是计算机智能化。”[1]

钱学森对认知科学的发展进行了科学的分析。第一,近30年电子计算机的发展表明,它引起了一场新的技术革命,确实能够模拟、代替人的部分思维功能,否认它是错误的,夸大化也是错误的。第二,计算机之所以能够模拟人的部分思维,是因为逻辑学在2000多年的发展中,总结出很多抽象思维的经验教训,发现了一些规律,数理逻辑提供了形式化的方法,因此,只要能够讲清道理、能够形式化的思维活动,都可以由计算机来模拟。第三,认知科学的路线与方法有严重缺陷;特别是一些强人工智能学者,把人的精神看做是“肉体的电脑”,把思维等同于算法、甚至认为只要算法、程序足够复杂,痛苦与快乐、对美丽与幽默的鉴赏、意识与自由意志就会自然地涌现出来。[2] 显然,其方法论属于还原论,其世界观是机械唯物论。第四,物理符号系统所处理的仅仅是符号,现有的计算机所模拟的仅仅是初级抽象思维,高级抽象思维——辩证思维以及形象思维、创造性思维还无法模拟。之所以如此,一是受现有计算机结构与功能的局限,二是因为人们对辩证思维、形象思

维、创造性思维还缺乏研究,还没有找到规律。根据这种认识,他倡导建立思维科学;为了与“认知科学”相区别,避开“cognitive science”这个词,他认为用“思维科学”更确切,英文译名采用“noetic sceince”。

2. 新一代计算机的研制提供了动力与实践

钱学森一直重视电子计算机,称它是新的技术革命。在他刚刚倡导建立思维科学不久,1981 年 10 月,日本正式宣布要用 10 年的时间研制第五代(即智能)计算机,在世界上引起强烈反响,美国、西欧、苏联纷纷制定相应的计划,争夺第五代计算机研制的优先地位。钱学森敏锐地指出:“这就给我们带来了一个信息:到 21 世纪,一个国家要能在世界上站得住,就必须掌握先进的科学技术。”[3] 第五代计算机就是先进科学技术的核心,因此,他把第五代计算机的研制作为推动思维科学研究的现实动力与具体实践。

1984 年 8 月 3 日,钱老在“国防科工委第五代计算机专家讨论会”上的发言中指出,日本人考虑的第五代计算机所包含的新内容主要就是图象识别系统,计算机能够认识图象,这就突破了单纯逻辑思维——抽象思维的框框,包含了形象思维的因素。但是,人类对形象思维还缺乏研究,这正是思维科学研究所面临的最大问题。

1985 年 5 月 26 日,钱老在“全国第五代计算机学术研讨会”开幕式的讲话中,批评了国际上第五代计算机研制中存在的严重忽视理论的倾向,提倡理论联系实际,并明确地说:“智能机和人工智能的理论就是思维科学。……而思维科学的发展也恰恰要靠智能机、人工智能的工作。我们也可以说用思维科学来指导智能机的工作,又用智能机的发展来推动思维科学的发展。”[3]

1987 年春,在钱学森倡导与参加、戴汝为主持下,在北京大学

举办了“思维科学讨论班”，但只进行了四次；后来，国家863计划中的306主题（智能计算机系统），有些类似活动，二者的基本目的与内容是一致的，可以把思维科学与智能机的研制结合起来。1990年10月4日，他在致戴汝为的信中进一步明确地说：“我认为，我们的目的是设计制造能代替一部分人的脑力劳动的智能机，而这项工程技术就是人工智能，或称‘人工智能学’。”“我以前说过：智能机是现在及今后50年我国的尖端技术。现在我想，智能机和人工智能是工程技术，属思维科学的应用层次；而上面提到的知识系统或知识系统学则属应用科学，是思维科学的中间层次；所以智能机的工作最终也将有助于思维学的研究，思维学属思维科学的基础科学层次。”[4]

3. 深厚的科学艺术修养提供了坚实的文化基础

除了上述背景之外，钱学森的科学艺术修养与丰厚的传统文化底蕴也起了重要作用。

钱学森不仅具有丰厚、扎实的自然科学功底，而且经历、参与了大量的工程实践，积累了丰富的实践经验；尤其难能可贵的是，他自觉地运用马克思主义哲学分析、处理科学技术与管理方面的各种问题，站得高、看得远，视野宽阔，善于总结实践经验，上升到理论。同时，他还具有深厚的中国传统文化的基础，不仅熟悉大量对联、诗词、散文、小品等文学作品，还非常喜欢国画、书法，甚至对佛家的顿悟也有很深的理解。对于西方的音乐，更有良好的修养。这就为他倡导建立思维科学、重视形象思维与灵感、把形象思维作为思维科学研究的突破口，提供了坚实、丰厚的深层底蕴。只有像他这样世界著名的科学大师，才能有这样的眼光和魄力。

形象思维在我国本来就有着深厚的土壤和悠久的传统。从

20世纪30年代"形象思维"这个概念传人我国开始，到80年代初，已经进行了三次讨论，特别是五六十年代的讨论，多数人都已承认形象思维的存在，是与抽象思维相并列的一种思维形态。这就不仅为他提供了认识基础，而且也为他倡导建立思维科学打下了广泛的社会基础。他的突出贡献在于，把形象思维从文学艺术领域扩展到科学技术、教育等领域，从而引起全社会各个方面的普遍关注，使形象思维成为各领域竞相研究的热点课题。

5.2 思维科学的研究对象、道路与思想来源

钱学森早在1979年4月23、24日给中共中央党校所作的学术报告《现代科学技术的发展》中，就明确提出："我们要把逻辑学扩大为思维学，包括一部分我们已经研究得很多的而且很有成绩的逻辑思维，还包括其他的人的思维过程。这在外国已逐步地引起重视，他们是从搞机器人、人工智能这个方面考虑的。搞人工智能、机器人，就要搞一个人工智能、机器人的理论。这个理论，他们叫认识科学。我们用'思维学'可能确切一点，就是包括逻辑思维，也包括其他的各种思维过程，形象思维等等，研究它们的规律。"这些论断非常重要，奠定了思维科学的基本理论框架、研究的方向与基本道路。第一次公开发表是1980年《哲学研究》第4期上的文章:《自然辩证法、思维科学与人的潜力》。后来在一系列文章、讲话与书信中，把思维科学的思想进一步展开、充实与完善，逐渐形成体系。

1. 建立思维科学的动力和必要性

钱学森在前几篇文章与讲话中，着重地考察、解决了推动思维

科学建立与发展的动力和必要性问题。在第一篇公开发表的倡导建立思维科学的文章中，他就敏锐、明确、坚定地指出："现代科学技术的实践，正预示着更重大的变革：思维科学的出现。""引出这项变革的是电子计算机。电子计算机是毛泽东同志指出的由重大技术变革形成的技术革命，它和历史上的蒸汽机、电力和现在的核能并列的技术革命。"后来，他反复强调："推动思维科学研究的是计算机技术革命的需要"[5]；"智能机是现在及今后50年我国的尖端技术"；"智能机的出现也将是一次技术革命"[6]；"用智能机的发展来推动思维科学的研究"[3]。他倡导建立思维科学的目的就是为人工智能的发展、智能机的研制提供理论基础。

关于"能不能和有没有必要建立思维科学这个科学技术大部门"的问题，1983年钱学森进一步地作了明确阐述："能不能的问题，实际是问人的思维有没有规律。如果没有规律那当然不能建立关于思维的科学。……思维当然有规律，因为思维也是一种客观现象，而一切客观的东西及其运动都有自己的规律，思维当然也不例外。"接着，他对思维的规律作了具体说明，指出："思维是人的中枢神经系统，特别是大脑受外界各种刺激而引起的"，"外界各种刺激又是客观世界变化和运动的产物，这些变化和运动是遵循客观世界规律的，即自然界的规律和社会的规律，所以外界各种刺激也是有它们自己的规律"；"人脑毕竟是亿万年生物进化的结果，遗传是起作用的，从根本上说人脑的结构是完全相同的，人脑受相同的生活经验或相同的社会实践所引起的适应、发展和调整也是相同的，这就从人脑的微观结构方面保证了人的思维的规律性。"[1]他还认为，既然逻辑学能够找到抽象思维的规律，为计算机模拟人的抽象思维提供了理论，那么，思维科学也一定可以找到形象思维的规律，"哪怕只讲清楚了一点，也不是小事，我想那将是人类历史

上又一次科学革命。所以我说，思维科学的研究将孕育一场新的科学革命。”[1] 关于“有没有必要建立思维科学这个科学技术大部门”的问题，他首先从现代科学技术体系的分析开始，看这个现代科学技术体系中有没有思维科学的地位。他指出：“现代科学技术已经发展成为一个学科林立，分工越来越细，但又同时相互关系密切，形成一个整体。是整体就不能不研究整体中的结构，学科之间的联系和相互关系。是整体，就是一个系统，而系统一定有清晰的层次和部门性的分系统。”[1]“现代科学技术不单是研究一个个的事物、一个个现象，而是研究这些事物、现象发展变化的过程，研究这些事物相互之间的关系。今天，现代科学技术已经发展成为一个很严密的综合起来的体系，这是现代科学技术的一个重要的特点。”[7] 他认为，各门科学技术的研究对象都是统一的客观世界，所不同的仅仅是着眼点、侧重点。据此，80 年代初，他把现代科学技术分成自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学与人体科学 6 个部门；后来，随着认识的提高而不断增加，到 90 年代中期，先后增加了行为科学、军事科学、地理科学、建筑科学与文学艺术；并明确地指出：“这是个活的体系，是在全人类不断认识并改造客观世界的活动中发展变化的体系。”[8] 在这个现代科学技术体系中，思维科学就是从怎样认识客观世界这个着眼点来研究客观世界的，是与其他 10 个部门相并列的一个部门。“这就是建立思维科学这样一个现代科学技术部门的必要性。”[1]

2. 思维科学的研究对象

关于思维科学的研究对象，钱学森的早期提法主要有两个，一个是“专门研究人的有意识的思维，即人自己能加以控制的思维”[5]，“研究人能够控制的那部分意识”[1]；一个是“要解决人是怎样

认识客观世界的,有什么规律”[1],“研究人认识客观世界的规律和方法”[1]。当时强调的主要是三个方面,第一是强调有意识、自己能够控制,自己不能控制的下意识不属于思维科学的研究对象;第二是强调“思维形式而并非思维内容”,“思维规律而不是其具体过程和结果”[9];第三是强调思维是意识的一部分,“不能把比思维更广泛的意识放到思维科学部门中来探讨”[1]。后来,针对国外的认知科学把感觉、知觉、记忆等作为重要研究内容,国内有人把信息的获取、传输、存储等作为思维的环节、过程,纳入思维科学,还有些人对思维科学与人体科学、脑科学的界限常常混淆等情况,1995年钱老对思维科学的研究对象与范围重新进行了界定,明确地指出:“我们要进一步分清什么是人体科学,什么是思维科学。现在我想所谓感觉和知觉都是人体科学中神经心理学要研究的领域;而更上一层的所谓感受则是精神学的研究领域。只处理所获得的信息,那才是思维学的研究课题。”“思维学是研究加工信息,而不是研究如何获得信息,那是人体科学的事。”“思维学的任务就是怎样处理从客观世界获得的信息,包括Popper的‘第三世界’这个非常重要的信息源,信息库,以获得改造客观世界的知识。处理可以只是人干,也可以人机结合(机器干一部分)。”[4]这就把思维科学的研究对象划分得非常清楚,与认知科学进一步划清界线。

3. 思维科学的研究道路

人脑的思维活动是非常复杂的,又无法像其他科学那样采用白箱的实验方法。在思维科学如何研究、走什么道路的问题上,钱学森的认识是有发展变化的。1981年初曾经认为,一条途径是比较古老的心理学的方法:人自己内省,即自己考察自己的思维过程;又一条途径是微观的方法,即从神经元入手的脑科学方法。到

1983年，随着对思维科学与人体科学认识的提高，对思维科学的研究道路做了调整：一条是脑科学的路，从微观上弄清神经元在思维中的活动机制，这虽然是根本之路，但在短期内却不可能有突破，不能指望；"所以要开辟第二条途径，要用电子计算机来模拟人脑的部分功能，也就是试着改变电子计算机的操作运转程序，直至电子计算机也能出现如同大脑的功能，尽管还是局部的功能。"[1] 1984年全国首届思维科学研讨会上经过讨论肯定了这条研究道路。后来，钱老反复地强调了这条道路的重要性。1987年2月28日，在北京地区第一次思维科学研讨会上，他说："从1984年后这三年看，我们在那个会上讨论的结果还成立，即从人脑结构开始发展我们的理论是行不通的，那太难了。我们希望脑科学发展快点，但不得不说我们不能靠他们。那怎么办？我们还有一条路，就是思维科学的基础科学，思维学的路，也就是从宏观而不是从微观，不从脑神经细胞做起。思维学就是要从宏观开始找人的思维的规律，研究这个规律。这个规律你怎么验证？不能爱怎么说就怎么说，你必须按这个规律做出机器，如果这个机器果然有人的思维的功能，你就对了。……这是我们1984年那个会的结果，说发展思维科学，要同人工智能、智能机的工作结合起来。"[10] 5月16日，他在"北京地区第四次思维科学研讨会"上的讲话中再次明确指出："原来我强调的，是从实践提高，实践是计算机技术、人工智能的发展，特别是人工智能、智能机。从这个发展出发，在理论上提高，上升到思维学。"[4]

由此可见，"思维科学要走人工智能和智能机这样一条路"[3]，这是钱学森倡导建立思维科学过程中一直坚持的基本观点，也是他为思维科学研究确定的正确道路。

4. 思维科学的思想来源

钱学森在反复强调从人工智能的发展、智能机的研制中总结经验、上升到理论这条根本道路的同时，也很重视其他方面的思想来源，其中，一是逻辑学，一是我国古代的文学艺术。

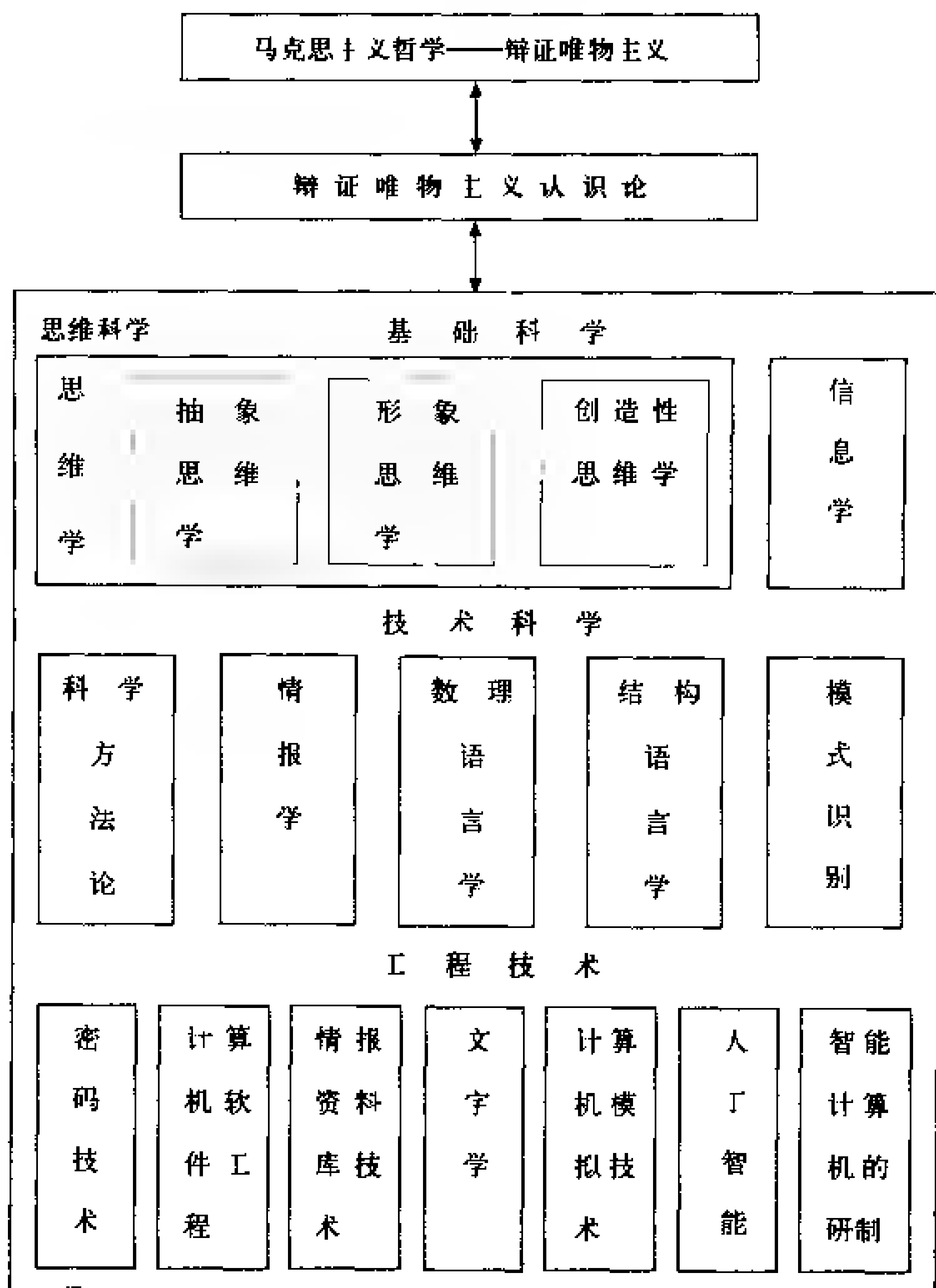
他认为，在思维科学的基础科学——思维学中，只有逻辑学对抽象思维的研究比较成熟，找到了初级抽象思维的一些规律，只要能够用数理逻辑形式化的思维活动都可以由计算机来模拟，因此一再强调要重视逻辑学。在"北京地区第一次思维科学研讨会"上的发言中，钱学森说："思维科学是不是还有另外来源，这几年来我一直在想这个问题……。我认为思维学实际上是从哲学演化来的。……我们以前搞电子计算机时就已经犯了错误，对数理逻辑不够重视。……有个世界著名的软件专家叫 Dijkstra，他说了一段心里话：'我现在年纪大了，搞了这么多年软件，错误不知犯了多少，现在觉悟了。我想，假设我早年要是在数理逻辑上好好的下点功夫的话，我就不会犯这么多的错误。不少东西逻辑学家早就说了，可我不知道。要是我能年轻二十岁的话就要回去学逻辑。'我看这是经验之谈，说明搞技术没有理论指导是不行的，而我们研究思维科学要从哲学的逻辑学吸收营养。"[10]他在给一些搞人工智能工作的同志的信中，一再提醒他们，要重视现代逻辑学的发展，特别是模态逻辑的发展，吸收一些逻辑学家参加课题研究。

形象思维的研究首先是从文学艺术开始的。钱老一直关注文艺理论工作者关于形象思维的探索，并认为我国古代的文学艺术是研究形象思维的丰富源泉。《在北京地区第四次思维科学研讨会上的讲话》中说："研究形象直感思维，我最早说的一个途径是计算机、人工智能和智能机；上次讲，还有一点办法，即从逻辑去研

究,为此,今天特请胡世华同志来启发我们。现在想研究形象直感思维,再找个来源,那就是文艺诗词。”“我想我们要研究形象直感思维,恐怕要回过头去,对文艺诗词要下点功夫。”[4]1994年9月18日在致戴汝为、钱学敏的信中更明确地指出:“我近日在想:既然文学创作中要运用抽象(逻辑)思维、形象(直感)思维和灵感(顿悟)思维,那我国几千年古老的文学作品不就是三种思维的结晶吗?那我们为什么不从中国的赋、诗、词、曲及杂文小品中学习探讨思维学呢?它们是最丰富的源泉呀。”他以对联为例作了具体分析:“从思维学角度看,对联的过程是:出联的上联是给出一个结构,请应联的下联人按此给定结构去找零件,字、词填入这个结构,思维就在于搜索思想库找材料。这就是对联答对联的思维学 搜索入结构。”“我自己体会,所谓形象(直感)思维则是与上述答对联相反的:有材料,但无结构。思维的任务是找形象,即结构。相反,不也相成吗?我们总结中国极为丰富的对联文学,不能为研究形象(直感)思维做贡献吗?知道形象(直感)思维是从零碎材料找结构不就是一个开端吗?从思维学的角度研究中国古代文学是值得的。”[11]

5.3 思维科学的体系结构与基本内容

钱学森把思维科学作为现代科学技术体系中11个大的科学技术部门之一,对其体系、结构逐层次地进行了详细剖析。他认为,思维科学也包括三个层次:基础科学、技术科学和工程技术,它与马克思主义哲学之间的桥梁是辩证唯物主义认识论。现在,根据钱老1983年和1994年亲手绘制的现代科学技术体系图与1995年对思维科学的重新界定,思维科学的体系可用下图表示:



马克思主义哲学——辩证唯物主义
辩证唯物主义认识论
思维科学
基础科学
思维学
抽象思维学
形象思维学
创造性思维学
信息学
技术科学
科学方法论
情报学
数理语言学
结构语言学
模式识别
工程技术
密码技术
计算机软件工程
情报资料库技术
文字学
计算机模拟技术
人工智能
智能计算机的研制

1. 思维科学的基础科学层次

1984年前后钱学森在一系列文章、讲话与书信中认为，思维科学的基础科学包括思维学与信息学，并着重对思维学进行了反复的分析与说明，指出思维学由抽象(逻辑)思维学、形象(直感)思维学、灵感(顿悟)思维学和社会思维学四部分组成。

关于抽象(逻辑)思维学，他着重强调了这样一些基本观点：

(1)人类对抽象思维研究的最早、最充分、比较成熟，找到了一些规律，形成了逻辑学，这是现在电子计算机和人工智能的理论基础，只要能够用数理逻辑形式化的抽象思维，计算机都可以模拟，并比人脑的运算速度快得多。这是冯·诺依曼(J.V.Noumann)式计算机的最大成功。

(2)抽象思维只是人类思维的一种形态，此外还有形象思维等形态；批驳了"人的思维，就是逻辑，就是抽象思维"的观点，指出："这在我国是很有影响的，许多人就是抱住这点不放，并搬出经典著作来作为根据。"其实，"把人的思维仅仅看成是抽象思维是不对的"[1]。

(3)逻辑学属于抽象思维学，尤其是数理逻辑，够得上基础科学，但它的范围比较窄，仅仅限于形式逻辑；抽象思维学要比数理逻辑广泛得多，"抽象思维中还有辩证思维"[1]。

(4)人工智能必须吸取以往忽视逻辑学的教训，坚持以逻辑学——数理逻辑为理论指导，注意逻辑学的新发展，吸收一些逻辑学家参与思维科学重大课题的研究。

钱学森把形象思维学摆在思维学的突出地位，作为思维科学研究的重点与突破口：

(1)在钱老倡导建立思维科学之前，形象思维问题只是在文学

艺术领域内讨论,像1979年版的《辞海》这样权威性的辞书,都把"形象思维"理解为"艺术思维"。钱老不同意这种看法。他认为,形象思维是全人类普遍使用的与抽象思维相并列的基本思维形态。1981年初就明确地指出:"形象思维不但文艺工作者使用,其他人包括自然科学家、工程师也经常使用。"[5] 这就把形象思维问题从文学艺术领域扩展到人类的全部思维活动,尤其是科学技术领域。这在思维科学的建立与发展中具有重大意义。

(2)在人类认识的发展史上,形象思维早于抽象思维,是钱学森反复强调的基本观点。他说:"人认识客观世界首先是用形象思维,而不是用抽象思维。就是说,人类思维的发展是从具体到抽象。……从人的发展来看,一般讲,语言先于思维,是指抽象思维而言的,形象思维是在语言以前就有的。"[1]

(3)把形象思维与人们"只能意会、无法言传"的实践经验、体会联系起来,认为这些实践经验、体会是人类宝贵的精神财富,抽象思维无法说清楚,属于形象思维;如果找到形象思维的规律,就可以"把前科学的那一部分、别人很难学到的那些科学以前的知识,即精神财富,都可以挖掘出来,这将把我们的智力开发大大地向前推进一步。"[1] 同时又提醒说,在运用经验、形象思维等概念时要有点警惕性,弄不好就会犯错误,变成经验主义。

(4)形象思维与抽象思维不同,抽象思维是一维、线型的,而形象思维则是二维、面型的。"抽象思维比较简单,一步一步推论下去,就如从一点到下一点,……可以说是线型的。而形象思维呢?从人的语言来说,有口音、同声字、错发音、文句错误等的干扰,但我们还是能准确地领会原意;至于图形的识别就更明显了。不是线型的,是多路并进的;不是流水加工,而是多路网络加工。"[12]"所以不宜把形象思维纳入抽象思维的路子;而这个毛病是容易犯的。

我以为形象思维似重在整体，是感觉所接收的'形'与脑中库存的'形'搜索比较，搜索到'同形'，即以脑中对该'形'的经验，作为感觉到的'形'的判断。丰富的实践及知识是形象思维的基础，这与抽象思维很不一样。"[13]

(5)他一直把形象思维作为思维科学研究的突破口。一方面，形象思维对智力开发具有指导意义，另一方面，形象思维与人工智能的发展、智能机的研制直接相关，人工智能与智能机所面临的主要难题就是以形象识别为基础的形象信息的加工处理问题，如果找不到形象思维的规律，那么人工智能与智能机就难以前进。因此，钱老明确指出："思维科学的研究，我仍然以为其突破口在于形象思维学的建立，而这也是人工智能、智能机的核心问题。因此，这也是高科技或尖端科学技术的一个重点。我们一定要抓住它不放，以此带动整个思维科学的研究。"[4]

灵感思维是钱学森在倡导建立思维科学过程中提出的一种不同于形象思维与抽象思维的新的思维形态，并把灵感思维学作为思维学的四个组成部分之一。这是前所未有的。他充分地肯定了灵感在创造性思维中的作用，认为，不论文艺工作者还是科技工作者，要创造、要突破，得有灵感；它出现于大脑的高度激发状态，高潮为时很短暂，瞬时即过；它与潜意识有关，一个很难的问题，在潜意识里加工来加工去，整个加工过程我们并不知道，得到结果了，再与显意识接通；它常常是在半醒状态下出现，因为这种状态下的思维活动框框少，容易出现大跨度的飞跃。灵感并不神秘，它也是来源于社会实践，没有实践经验的小孩是不可能产生科学家、工程师、艺术家的灵感的。钱学森关于灵感的这些思想是很精辟的，在他的倡导下，不仅突破了以往的禁区，破除了灵感的神秘性，而且我国近二十年来出现了灵感研究的热潮，推动了创造性思维研究

的深入。

社会思维是钱学森倡导建立思维科学过程中提出的一个全新概念，既然有社会意识、社会心理，社会思维也就合情合理。作为思维学四个组成部分之一的社会思维学，它“要研究人作为集体来思维的规律、它与集体的相互关系相互影响。”社会思维并不是现在才有的，历史上早就存在。我国南宋淳熙二年（公元1175年）就有“鹅湖之会”；国外的大资本家的参谋们也有社会思维，他们要策划嘛；至于各种学术讨论会就更多了，而且，“哪一个学术中心学术讨论搞得好，这个中心的学术成果就多。”钱老还认为，社会思维属于系统学问题，系统是有层次的，“清一色的组织是出不了好东西的，反而变成了闭塞”[1]；“从定性到定量的综合集成工程，metasynthetic engineering，就是以人-机结合的方法搞社会思维。由此实践再上升为理论，即社会思维学；所以社会思维学的路于好像有了。”[4]“社会思维的规律用一句话，就是我们党的民主集中制：在集中领导下的民主，在民主基础上的集中。在‘鹅湖之会’不也有几条会规吗？那就是集中领导。而学生可以不同意老师，那就是民主了。”[14]

钱学森关于思维学的思想，从80年代中期以后，随着认识的提高而有所发展；在1995年3月16日致戴汝为的信[4]中，对思维学的研究对象、内容与范围重新作了界定：

“一、我们要进一步分清什么是人体科学，什么是思维科学。现在我想所谓感觉和知觉都是人体科学中神经心理学要研究的领域；而更上一层的所谓感受则是精神学的研究领域。只处理所获得的信息，那才是思维学的研究课题。

二、思维学是研究加工信息，而不是研究如何获得信息，那是人体学的事。人体学要研究人在集体讨论中大脑的激化状态；人

体学也要研究特异功能人是怎样接收处理信息的。

三、思维学任务就是怎样处理从客观世界获得的信息，包括 Popper 的'第三世界'这个非常重要的信息源，信息库，以获得改造客观世界的知识。处理可以只是人干，也可以人-机结合(机器干一部分)。

四、思维学就只有 3 个部分：逻辑思维，微观法；形象思维，宏观法；创造思维，微观与宏观结合。创造思维才是智慧的泉源；逻辑思维和形象思维都是手段。

到今天，我们对逻辑思维研究得最深；对形象思维只是搞了个开端；对创造思维则尚未起步。对思维学我删去灵感(顿悟)思维、社会思维和特异思维，加了一个创造思维。也把从前的抽象(逻辑)思维简称为逻辑思维，形象(直感)思维简称为形象思维。

五、有吴文俊的工作，所以逻辑思维的任务看来可以交给机器去干。而对形象思维的计算机化才开始，现在主要靠人。至于创造思维，现在只能靠人了。当然，人在思维过程中离不开信息网络。"

1995 年 6 月 28 日，钱老在致杨春鼎的信[12]中，把上述思想进一步地作了简化：

"我们要分清脑科学与思维学。人脑是怎样接收信息、存贮和处理的？属脑科学，而这是很难的学问，到今天也是议论纷纷。思维学是研究思维过程和思维结果，不管在人脑中的过程。这样我从前提出的形象(直感)思维和灵感(顿悟)思维实是一个，即形象思维，灵感、顿悟都是不同大脑状态中的形象思维。另外，人的创造需要把形象思维的结果再加逻辑论证，是两种思维的辩证统一，是更高层次的思维，应取名为创造思维，这是智慧之花。"

很清楚，钱老对思维学的重新界定具有重大意义，澄清了许多

模糊认识。但在理解上有两点应当特别注意：第一、关于灵感（顿悟）思维钱老一直都很重视，只是对它在思维学中的地位却一再降级，最后于1995年将它从思维学中拿掉。这不是说灵感顿悟思维不需要研究，只是不把它作为思维学中一种单独的思维形态来看待，而是作为创造性思维的一种形式，放到心理学中去研究。原因是，它更多地涉及人的心理激发状态，特别是涉及潜意识问题，人无法控制；思维科学研究的只是人类能够控制的思维活动。钱老的这个调整是恰当的。第二，把社会思维学也从思维学中去掉了，这也不是说社会思维不值得研究，只是不再把它作为思维学中的一部分，原因是，社会思维不是与抽象思维、形象思维按照同一标准划分出来的思维形态，而是属于在集体讨论中相互激发状态下的思维活动，其基本思维形态仍然是抽象思维与形象思维，故不宜与抽象思维、形象思维相并列。由于这是钱老新提出的一种思维形态，尚缺乏深人、系统的研究，对其性质、内容、位置有不同看法是正常的。笔者认为，社会思维是根据思维主体是个人还是集体划分出来的思维形态，属于集体思维，抽象思维与形象思维则属于个体思维。社会思维虽然以个体思维为基本元素，但它自身却有其独特的本质与规律，值得研究；如何定位，待以后再说。

近20年来，在钱学森思维科学思想的指导下，有许多学者投入了思维学的研究，是思维科学领域非常活跃、参与人数最多的部分，发表了大量论文与著作。其中，学术价值比较高的专著有：陶伯华、朱亚燕著《灵感学引论》（1987），刘奎林、杨春鼎著《思维科学导论》（1989），田运主编《思维科学丛书》（1990），丁润生等著《现代思维科学》（1992），张光鉴等著《相似论》（1992），卢明森著《思维奥秘探索》（1994），田运主编《思维辞典》（1996），曾杰、张树相著《社会思维学》（1996），杨春鼎著《形象思维学》（1997），李欣馥著

《形象思维史稿》(1998),赵光武主编《思维科学研究》(1999)等,这些著作对思维学的形成具有重要的参考价值。

2. 思维科学的技术科学层次

在钱学森的思维科学体系中,技术科学是把思维学的基本理论应用于工程实践的中间环节,主要内容包括模式识别、结构语言学、数理语言学、情报技术、科学方法论等。

钱学森非常重视模式识别问题,认为"建立形象思维学要通过研究语言和识别图形";一直关注模式识别研究的进展。他说:"以前模式识别工作一直是用相关统计法,也就是把图形不同部位的数据(色彩和浓淡)用数理统计计算相关函数,以相关函数的分布来识别图形。这个方法计算量非常大,显然不会是人脑用的办法,人脑识别图形几乎是瞬时的!近年来模式识别已经转入所谓语义法,效果比统计法好。"[1]

他本人虽然没有直接研究模式识别,但是他的学生、近20年来经常与他一起讨论思维科学工作的戴汝为却是研究模式识别的专家,戴汝为关于模式识别的研究与应用正是在钱老的直接关怀与指导下进行的。因此,戴汝为在模式识别上的成果也浸透着钱老的心血。

模式识别原来是认知心理学研究人类认知的知觉过程的一个重要概念,基本内容是将感觉信息与长时记忆中的相关信息进行比较,从而确认它与记忆中的哪类信息有最佳的匹配。德国的涅曼教授认为,对于简单的模式,识别指的是分类;对于复杂的模式,识别指的是描述。概括来说,人的模式识别有两个要点:认知(cognition)与识别(recognition)[15],都与形象思维密切相关。用计算机进行的模式识别是对人的模式识别的模拟,在西方属于人工智

能的重要内容，在我国则属于思维科学中的技术科学。钱老认为，国外的模式识别完全是用逻辑思维，实际上，人的模式识别有形象思维，不光是逻辑思维，还有经验的因素。

70年代初，受日本实施的“模式信息处理计划”(Pattern Information Procesing System Project，简称为PIPS计划)的影响，中国科学院自动化研究所的戴汝为、胡启恒注意到模式识别的重要性，尤其是用模式识别解决“人机接口”——人与计算机方便地交换信息——的诱人前景，率先开展了模式识别的研究，并于1974年成功地研制出开创性的手写数字识别系统。80年代初，戴汝为以访问学者的身份赴美进修学习，与普渡大学的模式识别权威、美籍华人傅京孙教授合作，开展了模式识别的理论研究。他在分析、研究传统模式识别的两种方法——基于特征抽取的统计方法与基于形式语言的结构方法——的基础上，发现前者不能描述复杂模式的结构、模式与子模式之间的关系，后者在处理有噪声的模式、利用数字的语义信息方面无能为力；为了克服它们的弱点，创造性地利用属性文法为联系桥梁，引入语义信息，将统计模式识别与句法模式识别有机地结合起来，建立了一种新的模式识别方法——语义句法模式识别方法，更接近人脑模式识别的实际，引起国内外广泛的兴趣、重视与研究。82年回国后，他详细地向钱老汇报了研究所取得的成果，钱老充分地肯定了他的研究方向，给予鼓励与支持，并在钱老的直接指导下，开辟了把模式识别与思维科学——特别是形象思维联系起来的新的科研领域。在此基础上建立的模糊属性自动机为联机手写汉字识别*系统的研制打下了理论基础。钱老评价说：“我深感戴汝为同志是我国模式识别方面的权威之一，学术造诣深”。

80年代中期以后，为了把语义句法模式识别引入人工智能的

知识表达中，进一步地把关系属性引入句法模型，从统一的观点出发，将模式识别中的统计方法、句法方法、人工神经网络论及专家系统等方法结合起来，揭示了模式描述与知识表达之间的一致性，形成了描述从知识结构分析到知识表达的"综合各种模型的知识系统"概念，得到钱老的称赞，为联机手写汉字识别系统与脱机手写汉字识别 * 系统的研制，提供了理论根据。

90年代以后，在钱学森提出的从定性到定量综合集成方法论的指导下，在完成一系列国家级重大科研课题的同时，模式识别的理论与方法又有一些新的进展。例如，针对人工神经网络的特征选取方法、模拟形象思维的子结构检测器方法与模式识别中的"反向传播"模型的缺陷，提出了竞争学习算法；针对不同模式识别方法的适用范围与局限，提出了集成型模式识别方法，从而使各种不同方法得以互补，提高总体性能；其中的集成包含有不同的机制，既包括基于传统的串行集成方法，也包括基于人工神经网络的并行集成方法；还建立了反馈集成网络理论，使模式识别不再局限于简单的映射，而是提高到一种闭环非线性动力学系统，更符合人脑模式识别的实际。后来的集成型脱机手写汉字识别系统就是依据集成型模式识别而开发出来的。

模式识别方面的这一系列研究成果，在钱学森的思维科学体系中占有非常重要的地位，是近20年来思维科学中技术科学层次的主要成就，既为思维科学的基础科学——思维学提供了丰富的理论素材，又为思维科学工程技术上的实际应用提供了理论根据。

在技术科学层次上另一项重大成果，是从定性到定量综合集成方法论的形成。这不仅是系统科学的方法论，也是思维科学的方法论。因有专章论述，这里只就其思维科学的方法论意义，略作分析。第一，所谓"从定性到定量"，不仅包含形象思维与抽象思维

的结合，而且是从形象思维的定性认识开始，再到抽象思维的定量认识，这是一个动态的发展过程，符合人类认识与改造世界过程中思维活动的实际状况。第二，"综合集成"的内容，既包括现有的一切知识，也包括以往的所有知识；既包括一般人的知识，更包括各种专家的知识；不仅包括已经成文、形成理论的科学知识，而且还包括尚未成文的实践经验与体会。因此这是地地道道的"大成智慧工程"。第三，在这个"综合集成"中，人机结合、以人为主是核心内容，使人与计算机各自发挥自己的长处，实现人机互补，这是与西方认知科学所强调的把人排除在外的自主式计算机系统完全不同的路线。第四，这是现代科学技术条件下实现知识创新的有效途径，其中，发扬学术民主，调动每个成员的积极性，发挥集体思维的整体性、综合性优势，是这个方法论的独到之处。

此外，浙江大学的潘云鹤教授、华中科技大学的李德华教授等，在形象思维、创造性思维的模型与模拟方面，也进行了有益的探索，发表了一系列论文，钱老在一些通信中多次提到。只是由于篇幅所限，只好从略。

3. 思维科学的工程技术层次

思维科学的工程技术属于运用思维科学的理论直接地改造客观世界、解决具体问题、实践性最强的学问，主要内容有新型（智能）计算机的研制、人工智能、计算机软件技术、计算机模拟技术、密码技术、情报资料库技术、文字学等。

新型（智能）计算机的研制，虽然要依靠物理元件的制造技术，但是最根本的是设计的指导思想必须以关于思维——特别是形象思维——的本质与规律的认识为根据，在形象思维的研究没有取得突破以前，是不可能研制出真正的智能计算机的。钱学森把智

能机的研制作为思维科学的一项工程技术，把它与形象思维的研究联系起来，这是很深刻的；他之所以倡导建立思维科学、并把形象思维的研究作为思维科学研究的突破口，就是为智能机的研制提供必要的理论基础；同时，也把智能机的研制作为推动思维科学——特别是形象思维——研究的动力与实践；理论与实践二者相辅相成，辩证统一。

钱老非常重视新一代计算机的研制，经常与计算机专家汪成为讨论相关问题，一再强调，智能机的研制是现在和今后 50 年的尖端技术，是我国 21 世纪的重大战略问题，“智能机的出现也将是一次技术革命”[6]；但是，我们不要跟着外国人走，要结合我国的实际走自己的路。1985 年他就明确指出：“所谓第五代计算机有两种含义：(1)第二代巨型机(比一般的大机器还要大，我曾经给它起个名字叫 mega computer)；(2)第一代智能机(因为智能机以前还没有)。”[3]“巨型计算机，即第二代巨型计算机比较成熟，可以通过论证，在一段时间后立即开始研制，……至于第一代智能机，根据前面讲的情况，现在还不成熟，只能是预研，但因为它重要，要认真安排课题。”[6] 1992 年在致汪成为的信中更明确地指出：“我不以为能造出没有人实时参与的智能计算机。所以奋斗目标不是中国智能计算机，而是人—机结合的智能计算机体系。”[16]国家 863 计划 306 主题 15 年的实践证明，钱老的这些精辟见解是非常正确的。863 计划 306 主体开始时，由于“受‘跟踪性’的选题思路影响较深，立项论证时惯于遵循‘国外正在搞什么’”，因此 1986 年把主攻方向与外国一样定为“智能计算机系统”。后来，看到日本的智能机研制无成功的希望，这才逐渐醒悟，1990 年时把主攻方向调整为“支持智能应用的先进计算机系统”；“1996 年将主题的目标扩充为以研究‘适应互联网环境、面向智能应用的高性能计算机系统’为主

的主攻方向。"主攻方向调整对了，很快就研制出我们自己的曙光系列高性能计算机，还研制成功天演、天阔、浪潮等国产高性能的服务器，既满足了国内的迫切需要，打破了国外对高性能计算机的垄断，初步建立以国产曙光系列计算机为主的国家高性能计算机网[17]，又缩短了与国际先进水平的差距，为第一代智能机的研制打下了必要的技术基础，积累了宝贵的经验。如果像开始那样跟着外国人走，不仅不可能取得这些重要成果，恐怕也要像日本等西方国家那样以失败而告终。

智能接口技术，是国家863计划306主题中使计算机具有智能中文处理能力的重要研究课题，也是思维科学的工程技术层次当前最紧迫的研究任务。由于技术科学层次中在模式识别方面取得了重要成果，这就为该项任务的完成提供了理论根据。其中，中科院自动化研究所的成就比较突出。手写体汉字识别系统从一开始就是作为模式识别的实际应用进行研制与开发的，至今已有近30年的历史了。70年代中后期，首先研制成功手写数字识别系统，应用于信函自动分拣，因此，1979年荣获中科院重大科技成果奖。80年代，在语义句法模式识别理论的基础上，研制出联机手写汉字识别系统，荣获1986年中科院科技进步二等奖。80年代后期，戴汝为深入研究了模式识别中的模式描述与知识工程中知识表达的内在联系，以及人机交互与智能接口的有关问题，在国内率先开展把人工神经元网络用于知识工程的研究，开发出"人工神经元网络软件包 Neunet"，为亚运会工程建设做出贡献。同时，在戴汝为的指导下，博士研究生刘迎建在已有联机手写汉字识别系统的基础上，解决了汉字笔段串的排序问题，大大减少了个人书写习惯对识别效果的影响；他还建立了400万字的手写体汉字样本库，这是世界上最大的手写体汉字样本库。因此，由戴汝为开创、刘迎

建做出突出贡献的"手写体汉字识别系统的理论与实践",于1991年荣获中科院自然科学奖一等奖。日本模式识别专家、神户大学田中荣一教授参观后称赞说:"我参观后印象最深的是你们的手写汉字识别系统。我认为在日本没有哪一个手写汉字识别系统能够比得上你们的系统。"[18]

90年代初,戴汝为把人机结合的综合集成法引入手写体汉字识别系统的研究,在他的指导下不仅研制成功集成型联机手写汉字识别系统,而且在脱机手写汉字识别系统的研究上也取得突破性进展。由于指导思想与方法论都有了显著变化,充分发挥人在识别中的作用,使机器学习从"无教师的学习"变成"有教师的学习",实现人与计算机的综合集成,大大提高了识别率,开发出集成型脱机手写汉字识别系统。在上述成果的基础上,汉王公司*将手写输入、语音输入与合成、OCR*扫描识别、名片识别与管理、办公事务处理、手写E-mail软件、英汉双向翻译软件及工具软件等诸多技术与功能集成为我国第一个面向智能化的中文平台——86-3OFFICE99办公套件,不仅在国内非键盘输入软件市场占有最大份额,而且,还于1998年12月向美国的微软公司授权,在基于中文WINCE平台的掌上电脑中全面采用联机汉字识别技术。在脱机手写汉字识别系统的研制成果中,清华大学、北京邮电大学与自动化所的成果都达到了实用化的水平,自动化所的成果还达到国际领先水平,不仅与国家邮政局上海研究所签订"信函汉字地址识别"合同,将在邮政领域得到重大应用,打破外国产品在国内邮政分拣机市场上的垄断局面,而且还走出国门,与日立公司合作,提供手写汉字与数字的识别技术。在印刷体汉字识别技术方面,中科院自动化所也取得重大突破,研制成功"全自动印刷体汉字识别系统",既解决了多字体、特大字符集和低印刷质量的汉字识别问

题，还有效地解决了表格线断裂、文字表格线粘连等问题，识别率达98.4%，在数字图书馆和大规模数据输入中得到成功应用，差错率低于万分之一。[16]对于戴汝为在模式识别与汉字识别技术研究方面的突出贡献，钱学森给予充分肯定，说"他对AI有比较符合马克思主义哲学的认识，不搞机械唯物论，搞人与机的辩证统一，成功地解决了计算机识别手写汉字的问题——一个初级的计算机图象识别。"[19]

汉字识别技术的这些研究成果，是思维科学工程技术层次上的重大进展。

钱学森非常重视我国古典文学艺术对研究形象思维的意义，1994年9月18日在致戴汝为、钱学敏的信中，特别分析了对对联的思维过程。在钱老这些思想的启发与指引下，戴汝为从1994年秋开始，先后指导硕士、博士研究生对计算机春联艺术进行了大胆的探索，经过两届学生、五年的努力，研制出初步的计算机春联艺术系统。他们认为，人工智能中的自然语言处理，必须从形象思维层次入手，才能从根本上解决语义的理解和表达问题；神经网络分布式语义表示非常类似于人的认知过程；必须把抽象思维与形象思维结合起来，用联结机制与符号逻辑相结合的方法才能比较全面地解决语义问题；只有实行人机结合才能解决结构不良问题。因此，他们把联结机制与符号规则结合起来，在数值化语义表示的基础上，提出了并行的语言处理模型；根据人机结合的原则，提出了竞争监督学习法，解决了汉语中常见的一词多义问题。在此基础上，以中国古典文学中最简单的对联为对象，以极为丰富的春联为具体材料，建立了包含有4700副春联的语料库、1000多韵律词的基本词库、经反复训练形成的训练样本库，终于使计算机能够自动生成一些比较简单的春联，并且绝大多数都是工整、通顺、合情

合理的 如,对上联“春回大地”,生成的下联有“福满人间”、“福满山川”、“喜到神州”;对上联“党开致富路”,生成的下联有“人过幸福年”、“民尽报国心”;对上联“爆竹一声除旧”,生成的下联有“桃符万点更新”、“梅花万点更新”;等等[20]。应该说,这是计算机模拟人的思维——特别是形象思维研究上的重要成果。

从定性到定量综合集成研讨厅体系与大成智慧工程,是钱学森最近十年花费大量心血所取得的卓越成就,不仅对系统科学、思维科学有重大的理论意义,而且对国家各个领域重大、复杂问题的决策具有巨大的实践价值。因此,近十年来陆续投入一些资金进行试验研究。1992—1996 年,受中央有关部门的委托,在国家 863 计划 306 主题的支持下,投入资金 45 万元,由中国航天工业总公司 710 所、中国科学院自动化研究所与华中理工大学系统工程所联合研制、开发了综合集成的宏观经济智能决策支持系统(MEI-DSS),实际运行证明是成功的,得到用户的肯定与好评,荣获航天工业总公司科技进步一等奖,1998 年获国家科技进步三等奖。这是初步实践。1999 年,在国家自然科学基金的支持下,投资 500 万元,由戴汝为、于景元、顾基发主持,组织中国科学院自动化研究所、系统科学研究所与中国航天工业总公司 710 所、清华大学等单位的科技工作者,开展了“支持宏观经济决策的人机结合综合集成体系研究”。这是进一步的实践。还有一些专门领域对从定性到定量综合集成研讨厅体系进行着更大规模的实验研究。这表明,钱学森提出的从定性到定量综合集成研讨厅体系已经从理论探索阶段进入到大规模的实验研究阶段,是思维科学工程技术层次的重要内容。(参阅《钱学森论大成智慧》)。

在思维科学工程技术层次中,教育领域也是思维科学的重要实践场所,近十几年来,广泛地开展了各种试验研究。例如,中科

院心理所的朱新明与美国著名认知科学家西蒙合作搞的“人类的自适应学习”,辽宁教育学院主办的“思维规律与思维训练”,装甲兵工程学院承担的“军事工程高等教育思维研究”,北京教育学院组织的“开发右脑,发展形象思维的教学试验与研究”等,其中有些项目属于国家教育科学“八五”、“九五”规划的重点课题,有些项目荣获国家级、省部级奖励 关于创造性思维的试验研究,也在一些高等院校和其他领域以不同的形式广泛地开展着。

综上所述,工程技术层次是思维科学研究成就最突出的领域,承担了国家上千万元的各种科研课题,获得多项奖励。戴汝为主编的《智能自动化丛书》,对模式识别、手写汉字识别系统、从定性到定量综合集成研讨厅体系等许多工程实践经验作了初步总结,荣获第四届国家图书奖、1999年“全国优秀科技图书奖”暨“科技进步奖(科技著作)”一等奖。这是二十年来思维科学研究的最重要成果。

5.4 为建立、发展思维科学而奋斗

近20年来,现代科学技术的发展突飞猛进,各种信息大量涌现,有人称之为“信息爆炸”;如何处理这些信息成为非常突出的问题。显然,完全靠人脑是办不到的,计算机已经成为人们处理信息的重要工具。然而,现在的计算机所能够处理的仅仅是符号,所能模拟的仅仅是部分抽象思维,无法模拟形象思维。20世纪80年代兴起的智能机研制热潮,就是想解决这个问题;但却没有成功。原因是人们对形象思维还缺乏研究。因此,人们把注意力集中到人脑,把20世纪90年代称为“脑的十年”。现在,这十年又过去了,仍然没有突破。从这20年的历程可以进一步地看到,我国思

维科学20年来的发展也证明，钱学森20年前倡导建立思维科学实在是十分高明的，具有明显的前瞻性、预见性。

当然，思维科学是正在建立的新兴科学，属于新生事物，在一些问题上有不同的理解，是正常现象。有些哲学、社会科学工作者，运用思辨方法研究了思维的本质、形态、基本形式与规律，发表了一些论著；这是很有意义的，也是思维科学的基础科学——思维学中的重要内容。但是，有些学者看不到其他方面——特别是技术科学层次、工程技术层次——所取得的丰硕成果，却将自己的成果夸大化，认为那就是钱学森倡导建立的思维科学。有些文艺理论工作者，对形象思维在文艺创作中的表现或运用进行了一些研究，发表了一些论著，这对形象思维的研究也是不可缺少的。问题是有的学者对其他方面的形象思维研究不太了解，认为自己的这一套就是形象思维学。有些搞工程技术的专家、学者，跳不出自己研究领域的狭小框框，看不到哲学社会科学、文学艺术领域的学者对思维科学问题的研究成果，也将自己的成果夸大化。这些片面的理解影响了思维科学各个方面工作的全面开展。其实，只要认真、全面地读一读钱学森近二十几年关于思维科学的各种文章、讲话、信件，不难看到他所倡导建立的思维科学这个科学技术大部门的全貌。只有把思维科学作为现代科学技术体系中11个大部门之一，其中包含基础科学、技术科学与工程技术三个层次，才能恰当地认识与估价自己的研究成果在其中的价值与地位；只有把各个方面的专家学者团结起来，协同工作，经过长期乃至几代人的共同努力，才能建立起完整的思维科学体系。至于思维科学研究的基本道路，钱学森的思路是非常清楚的，那就是理论联系实际，没有理论指导是不行的，但理论的建立主要不能凭哲学思辨，而是从实践中总结、提炼；这里的实践，在当前，新一代计算机的研制、人

工智能显然占有突出地位，当然不是惟一的，还有社会科学、文学艺术、社会管理、经济管理、军事与教育等许多领域。

目前，钱学森关于思维科学的思想正处于探索、发展的过程中，思维科学正在建立。我们的任务是，跟上现代科学技术迅猛发展的形势，全面、准确地理解、宣传钱学森关于思维科学的思想，团结各方面有志于思维科学研究的专家学者，克服各种困难，为思维科学这个现代科学技术大部门的建立与发展而共同奋斗！

参 考 文 献

1 钱学森主编:《关于思维科学》，上海人民出版社，1986年，第199、13～14、163、15、129、128、18、24、151、133、137、141、131～132、21、22页。

2 [英]罗杰·彭罗斯著:《皇帝新脑》，1版，湖南科学技术出版社，1996，"马丁·伽特纳的前言"第2页，正文第18页。

3 钱学森1985年5月26日《我国智能机的发展战略问题在"全国第五代计算机学术研讨会"开幕式上的讲话》。

4 赵光武主编:《思维科学研究》，中国人民大学出版社，1999，第602—603、Ⅴ—Ⅵ、Ⅰ、Ⅳ、597、603页。

5 钱学森:《系统科学、思维科学与人体科学》，《自然杂志》，1981(1)，第9、5、6页。

6 钱学森:《关于"第五代计算机"的问题》，《思维科学》，1985(2)，第9、10页。

7 钱学森主编:《现代科学技术和科学政策》，中共中央党校出版社，1993，第80页。

8 钱学森:《社会主义现代化建设的科学和系统工程》，中共中央党校出版社，1987，第135页。

9 钱学森1980年7月1日致吴廷嘉、沈大德的信，《中国社会科学》，1980(6)。

10 钱学森:《关于思维科学的研究》，《思维科学》，1987(3)，第3、3～4页。

11 钱学森:《科学的艺术与艺术的科学》，人民文学出版社，1994，第135～137页。

12　杨春鼎:《形象思维学》,中国科技大学出版社,1997年,第185、190页

13　钱学森1991年7月13日致李德华的信,见本书附录 :"钱学森的部分通信"

14　钱学森1994年10月10日致曾杰的信,见曾杰、张树相:《社会思维学》(扉页),人民出版社,1996

15　戴汝为:《形象(直感)思维与人机结合的模式识别》,《信息与控制》,第23卷第2期,1994、第76—80页、

16　王寿云等:《开放的复杂巨系统》,浙江科学技术出版社,1996,第279-280页

17　http://www.863.org cn/information/info04　01.html

18　http://www.ai.ia.ac.cn

19　钱学森1993年1月3日致李德华的信。

20　费越:《汉语语义的多层次集成研究——及春联艺术系统设计》(博士论文),中国科学院自动化所,1999。

第6章 钱学森论地理科学

钱学森主编出版过一本《论地理科学》[1]，地理学界黄秉维作序，黄秉维、吴传钧、陈述彭、王恩涌、余之祥、董雅文、沈道齐、张超、浦汉昕等写了论文；鲍世行主编出版过一本《钱学森论城市学与山水城市》[2]，地理学界陈传康、谢凝高等写了论文；还出版了一本《开放的复杂巨系统》[3]，钱学敏完成了其中第五章地理系统与社会系统。地理学界了解钱学森地理科学思想的，应该首推浦汉昕和瞿宁淑两位。我与钱学森的接触不多，写过一篇"论地理科学的发展"[4]，经钱正英推荐，就此曾请教过钱学森。让我来写钱学森论地理科学，我总感到不安。北京大学现代科学与哲学研究中心的主编们，决定要我来写钱学森论地理科学，我想主要是因为我的地理科学研究成果与钱学森地理科学思想相近。我对钱学森著作的了解是很有限的，这次为了要写钱学森论地理科学，才认真地比较全面地读了有关钱学森的著作与部分信件，算是有了比较深入的认识。把自己的实践与钱学森的地理科学思想两相对照，确实使我认识到钱学森尽管不是地理学家，但是他的地理科学思想是非常清晰的，知识渊博，逻辑严密。钱学森在许多科学领域都有独到的见解，他在地理科学领域中的高屋建瓴、高瞻远瞩也是惊人的。由于我的研究能够证实钱学森对地理科学的许多思想论述，反过来钱学森的地理科学思想对我的研究也是一种肯定。我相信我们都是追求真理的，真理只有一个，只要研究的思想方法是正确的，

那么殊途同归，无论是谁来研究，结论应该是相同的。下面是根据我对地理科学研究的心得，浅谈对钱学森地理科学思想的认识。

6.1 钱学森提出地理科学

1987年钱学森发表了“发展地理科学的建议”[5]，正式提出了地理科学的概念。地理学界许多人都不能理解，为什么一个“两弹一星”的火箭专家提出发展地理科学？实际上钱学森不只是一位工程师、科学家，而且是一位思想家、哲学家，一个杰出的科学家同时又是一个哲学家。在马克思主义思想指导下的中国科学家，我们再也不应该是一个伟大的科学家，却是一个渺小的哲学家了。一个科学家只有在一个领域中深入到底(所谓“底”，我认为是在一定的历史阶段，科学研究的极限)，然后应该返回上来，越是钻研得深，越是反弹得高，只有这样才能既是科学家又是哲学家。这样的科学家不是一般的专家，而是战略科学家。一般而言科学家很少能够深入到底的，往往用一辈子的时间，虽然到达了某些前沿，但没有时间去拓宽了。或者深入不到底，急于反弹，结果高度有限，往往是虽然涉及科学领域的面很宽，但是比较肤浅。这好比一棵大树，根越深，树越高；根系分布越宽广，树冠覆盖越茂密。同样地，一棵小草，根浅，草短；根系范围小，草叶覆盖稀。钱学森正好比是一棵大树，他在力学领域内，是钻研极深的科学家，他能够用微观物理学来解释宏观力学现象(20世纪50年代他研究了物理力学)。钱学森在思维逻辑上，得益于数学与力学严谨的有序化，奠定了一个极好的智慧脑基础，这好比是他的“根很深”，达到了现代科学的最前沿。后来又在航天技术、控制论、系统科学等方面作

了突出的贡献，这好比是他的“根系很宽广”。20世纪70年代以来，进而对哲学、地理科学、建筑科学、军事科学、思维科学、人体科学、行为科学、社会科学、科学与文艺等进行论述，这好比是他的“树冠很茂密”。最后提出大成智慧，这好比是他的“树干既粗又高”。他从整个人类认识世界的历程上来研究科学的体系，现今提出了十一个研究部门（研究主体人类的分人体科学、思维科学、行为科学；研究客体世界的分自然科学、社会科学、界于自然与社会科学之间的地理科学；在上述三者基础上人的行为与美学结合产生建筑科学，在上述四者基础上考虑对阵谋略建立军事科学；以上主要是量智科学，对应量智科学的性智科学是美学；而横贯于上述各科学之间的是数学科学与系统科学），而地理科学是其中之一。又从开放的复杂巨系统的研究中提出五大系统（星系系统、地理系统、社会系统、人体系统、人脑系统），地理系统又是其中之一。在社会主义建设的系统结构中的四大建设（物质文明建设、精神文明建设、政治文明建设和地理建设）中，地理建设又是其中之一。钱学森是居高临下，从整个科学体系中提出的界于自然科学与社会科学之间的“桥梁科学”——地理科学的，地理科学的目的也很明确，为可操作的可持续发展战略目标服务。

我以为，20世纪下半叶是地理学向地理科学飞速发展的半个世纪。本来地理学是介于文理科之间的科学，但是大学所属地理系长期归属于文学院，直到今天，在西方国家，地理系仍然属于文学院。按照康德的观点，地理是研究空间的科学，历史是研究时间的科学，解放前中国大学中的地理与历史同属于史地系。1949年以后，受到苏联的科学体系的影响，地理学归入理学院。地理学的研究以描述性、思辨性定性方法为主，也伴随着简单的定量计算。半个世纪以来，地理学发展成为地理科学的历程（图6—1）。

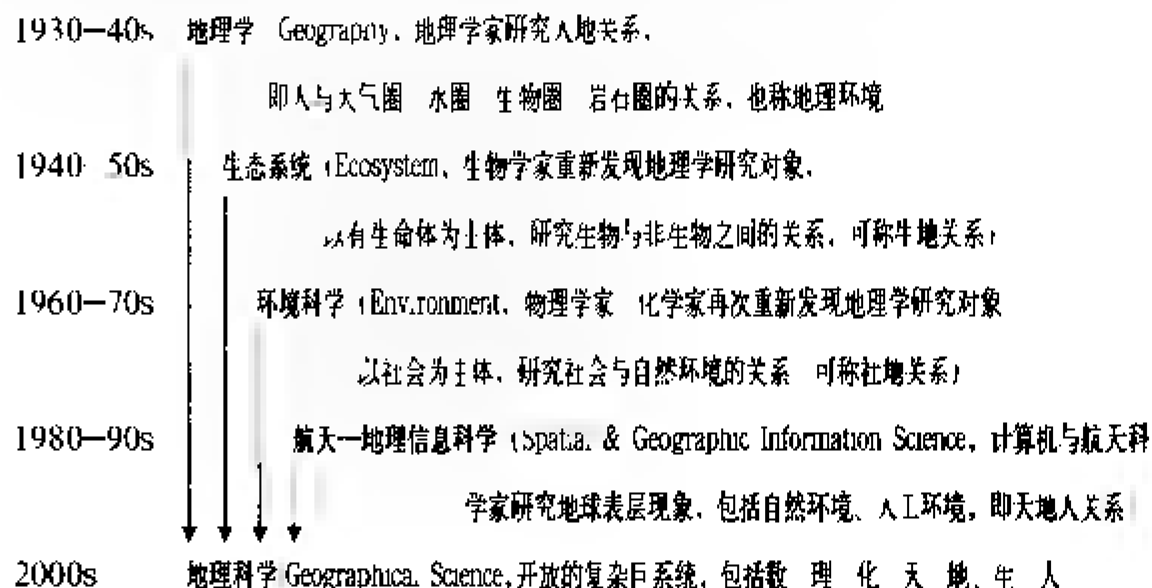


图 6—1 地理学发展到地理科学的历程

地球经历了天文期、地文期、生文期、人文期，地理学是人文期人与地理环境的关系[6]。因此，地理学的时空限域分占地理学（自有人类以来200万年到有历史记载的5000—6000年），人类在地球陆地表面零星分布，人类作用的垂直距离为正负十米；历史地理学（有历史记载以来到人类越出大气圈，进行航天飞行），人类几乎分布到全球陆地表面，人类作用的垂直距离为正负十公里；现代地理科学，1957年以来，人类越出了大气圈，开始航天与航宇[7]。20世纪30—40年代，大学中设史地系，地理属文科性质，研究人类赖以生活与生产的地理环境，简称人地关系；40—50年代生态学发展，生物学家以有生命的物体为主体，研究生物与非生物的关系，简称生地关系，有生命的物体中包括了人类，因此生态科学认为包括了地理学；60—70年代的人类社会，高度的经济发展，尤其是工业化的后果，产生的污染排泄物，污染空气、污染水质、污染土壤、污染动植物，人类在食用动植物时，食物链上积累的污染物反及人类自

身、物理学家、化学家与部分地理学家纷纷加入环境污染的研究，环境科学的发展从小环境污染发展到社会与自然环境和人工环境（大环境）的研究，即研究人类社会与环境的关系，姑且简称社地关系；80—90年代航天技术大发展，遥感、遥测、全球定位系统、卫星通讯，计算机学家、航天科学家与部分地理学家结合研究天地人关系 钱学森作为航天科学家，看到了国民经济主战场的问题，提出研究地球表层理论的地理科学是可以理解的。但是钱学森确实不是地理学家，他的地理科学思想不可能在具体的学科门类上完全正确，这同样是可以理解的。能够从科学分类的整体上提出地理科学的正确思想，就是十分的了不起！所以黄秉维把钱学森比为天地生科学上空的“苍鹰”，具有居高临下的指导意义，是有道理的。

钱学森对各门科学，都划分了研究的层次，从马克思主义哲学（性智、量智）；哲学与科学之间的桥梁，包括地理哲学；科学自身的基础理论、技术科学、应用技术；再到前科学（实践经验知识库和哲学思维，不成文的实践感受）[8]，包括地理经验与地理景观的感性认识，即地理的野外工作，对地理现象的原型的认识，这是一个完整的体系。我们在研究地理科学时，实践证明了在地理科学自身层次上存在着基础理论的理论地理科学（即钱学森提出的地球表层科学，包括自然环境与人工环境两部分）、技术科学的地理信息科学、工程技术的地理系统工程[7,9]。理论地理科学不是现在已经发表的从数学地理、从逻辑地理、从动力学地理、从区位论地理、从地理过程、从物质、能量、信息等角度撰写的本子，而是从圈层结构的进化，到独立因子层的发展[4]，与钱学森的地球表层科学十分相近，我们的研究要再向深层发展一些，也更加具体一些。地理信息科学则与钱学森的认识差别较大，我们把所有的观测、实验、获取原

始资料的方法作为地理科学的技术科学，并且用地理信息科学统一起来。而地理系统工程与钱学森的设想几乎没有差别，仅仅是多列一些门类或者是少列一些门类的区别，都认为这是国民经济的主战场（图 6—2）。

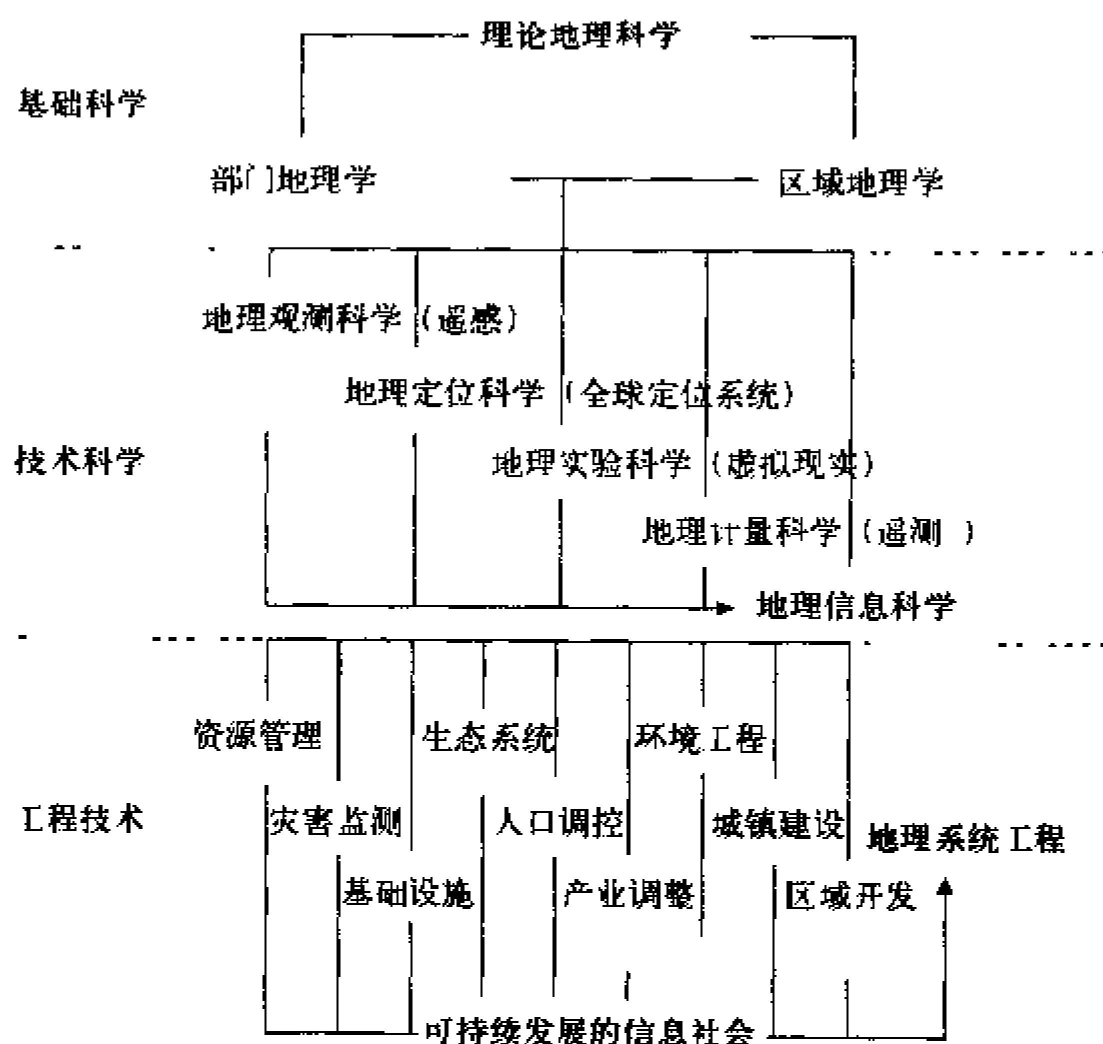


图 6—2 现代地理科学的体系（包括陆地与海洋）

其中，基础设施是根据钱学森的意见加进去的。钱学森对上述地理科学的框架是给予肯定的。

6.2 钱学森论地理科学体系的重要性

钱学森认为地理科学是自然科学与社会科学之间的汇合科学[10]，地理科学不是一门科学，而是一系列的科学。1996年在钱学森的十一大科学体系中地理科学与自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学、人体科学、军事科学、行为科学、建筑科学、文艺理论[8] 并列。地理科学与自然科学、社会科学并列，实际上是非常重要的，这意味着对于国民经济的建设，除了建立自然科学院、社会科学院外，还应该建立地理科学院[11]。根据我们的研究，人地系统中的地理系统与社会系统与自然科学之间确实有一系列的地理科学的研究对象，而且是国民经济中的主战场(图6—3)。

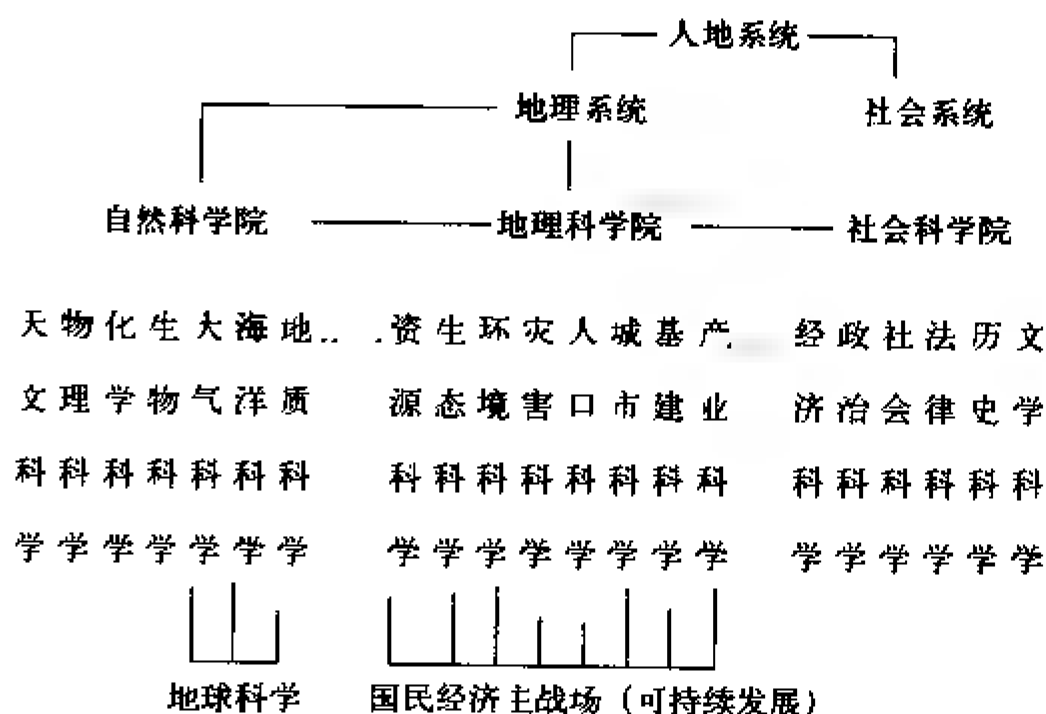


图6—3 地理科学(在工程技术层次上)在自然科学与社会科学之间的地位

上述研究与钱学森的地理科学思想是完全一致的，于景元等进一步提出地理建设和地理系统工程的思想基本上是符合国情的[12]。与国民经济发展最为密切的部分，需要有一个地理科学院与之对应，这对于国家的建设无疑是重要的。地理科学与地理学是不同的，地理科学与地球科学也是不同的[13]。钱学森认为，地理科学更加强调自然科学与社会科学交叉与融合[14]，而地理学把自然部分称为自然地理，经济部分称为经济地理，依旧受自然科学与社会科学的割裂的影响。自然地理加上经济地理也不可能直接产生资源科学、环境科学、生态科学、灾害科学、人口科学、城市科学、基建科学、产业结构科学等。资源、灾害等等都是对人类社会系统而言的，地理系统是社会系统的环境[12]。地球科学是属于自然科学的一部分，是星系系统中的子系统，地理科学是自然科学与社会科学之间的桥梁科学，构成独立的地理系统。实际上是从地理学发展到地理科学的新进展[15]，而且是非常重要的进展，无论是理论还是实践都是非常重要的。一个非地理学家对地理科学有如此重大的贡献，实在令人敬佩。钱学森实际上秉承了竺可桢教授的地理学必须为国民经济服务的精神，从而做出了发扬光大的贡献[16]，把国民经济主战场的任务交付给了地理科学，并提出了按照系统论的观点，成立社会主义中国建设的总体设计部。我认为钱学森的建议表现了杰出战略科学家的智慧。

6.3 钱学森认为地理科学系统是开放的复杂巨系统

钱学森认为人类的科学研究，说到底实际上是五个系统，即星系系统（地球科学属于星系系统）、地理系统、社会系统、人体系统、人脑系统[17,18]。这是高度的概括。钱学敏阐述了钱学森的地理系

统与社会系统的关系[19]。实际上地球上最高的系统是人地系统，人地系统中包括两个子系统，一个是社会系统，一个是地理系统，地理系统所包括的环境为自然环境（或称自然景观）与人工环境（或称人文景观）两部分。社会系统的环境就是地理系统，而地理科学是原来的地理学、生态学、环境学、航天信息学相融合而成的，并且是更加发展了的复杂科学，属于在宏观层次（指渺观、微观、宏观、宇观、胀观中的宏观）上的复杂科学[7]。

钱学森在1983年提出，地理科学的基础理论地球表层学是开放的、有序的巨系统[20]。因为地球表层的物质与能量，有太阳辐射能量的输入，有地球内部质量与能量的输入，同时也有输出，而输入与输出是一个具有耗散结构的开放系统[21]；由于地球表层能量流是负熵流，所以又是进化的，地球从天文期、地文期、生文期、进化到人文期，是有序的；有序巨系统还表现在多层结构方面，钱学森认为分四个层次，即基层是一个工厂、企业，一个生活区，一片林地，一块农业种植田，一片渔业水面等，实际上就是土地利用类型；上一个层次是地区环境，实际上就是类型区域；更上一个层次是国家层次；最后是世界层次，即全球的变化问题。1984年，钱学森进一步提出生态经济学必须关心长远的环境问题和资源永续[22]，再次强调地球表层学的系统性。我们在长江地区可持续发展丛书中研究可持续发展就是从全球到国家，再到长江地区的[23]，分层次的研究。钱学森在1989年又提出了地理科学系统是开放的复杂巨系统[24,25]，把星系系统、地理系统、社会系统、人体系统、人脑系统都看成是开放的复杂巨系统，这是钱学森的发明，也是中国人的发明。西方国家，以美国为代表的圣菲研究所，研究复杂性科学是有贡献的，他们研究的是混沌与有序之间的现象[26]，他们在非方程表达的数学方面有创建。但是他们不具备辩证思维，基本上还是还

原论的思想方法。而钱学森研究的开放的复杂巨系统及其方法论[27]所表达的辩证思想，其深度与广度都为西方科学家所望尘莫及。中国科学家具有古代朴素辩证法的“基因”，又有现代辩证唯物主义教育的基础，是得天独厚的。

我们的研究仅仅是在航天信息与地理信息一体化网络系统及其应用方面，从一个方面证实了钱学森的观念是正确的。该系统的框图见图 6—4：

钱学森提出的开放的复杂巨系统的研究需要用综合集成法、从定性到定量研究等学术观点。在我们的实践中，确实体会到了综合集成与从定性到定量的关系的重要性。所谓综合集成在航天信息与地理信息一体化网络系统中，遥感信息系统中的图像库与地理信息系统图形库之间的联系是用地理遥感信息模型[29]解决的；地理信息系统属性库与地理专家系统知识库之间的联系是用地理信息编码模型[30]解决的。无论是地理信息模型，还是地理信息编码模型，都是由定性到定量的结果。根据我们的研究，综合集成绝不是简单地将各个子系统用接口连接起来就成的，而是需要有子系统之间的“桥梁”模型连接才是自然的。综合集成的方法可能是多种多样的，我们的研究可能仅是其中之一。从图 6—4 中可见航天信息与地理信息一体化网络系统是信息社会的支柱之一，而且是非常重要的支柱。无论是数字航天（Digital Spatial Information）[31]、数字地球、国民经济信息化，都需要航天信息与地理信息一体化网络系统的支撑，这个天地信息网络系统就是一个典型的开放的复杂巨系统。从这个天地信息一体化网络系统的实践中，充分证明了钱学森开放的复杂巨系统思想的一般性与可操作性。

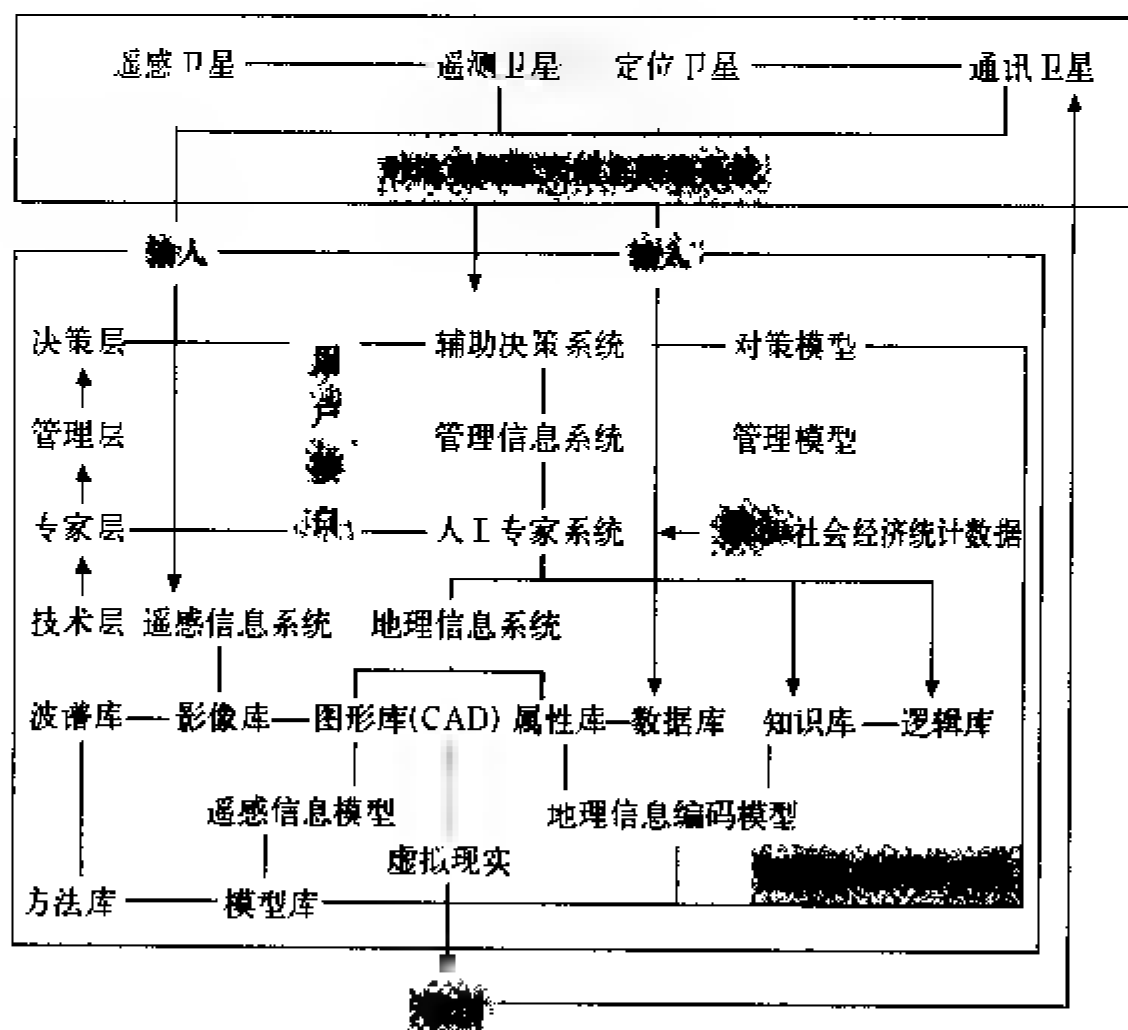


图6—4 航天信息与地理信息一体化网络系统 — 开放的复杂巨系统

6.4 钱学森询问地理科学里有没有相似理论

地理逻辑中除了应用演绎逻辑、归纳逻辑外，最多的是应用类比逻辑。但是，长期以来地理学家们大多数是进行直观的类比、实

验的类比、思辨的类比，没有建立像物理学那样的相似理论。最近我们发展的非线性、复杂地理方程，除了把物理方程的演绎逻辑、随机方程的归纳逻辑融合外，还应用了类比的相似准则。其表达式的建立，见图6—5：[32]图中的“π”是地理相似准则。地理非线性是指所有自变量与因变量之间不是一次的函数关系，是广义的非线性，与狭义的“非线性”如“三个臭皮匠顶个诸葛亮”，或“三个和尚没水吃”的非线性是不同的。在地理信息模型中的复杂性主要

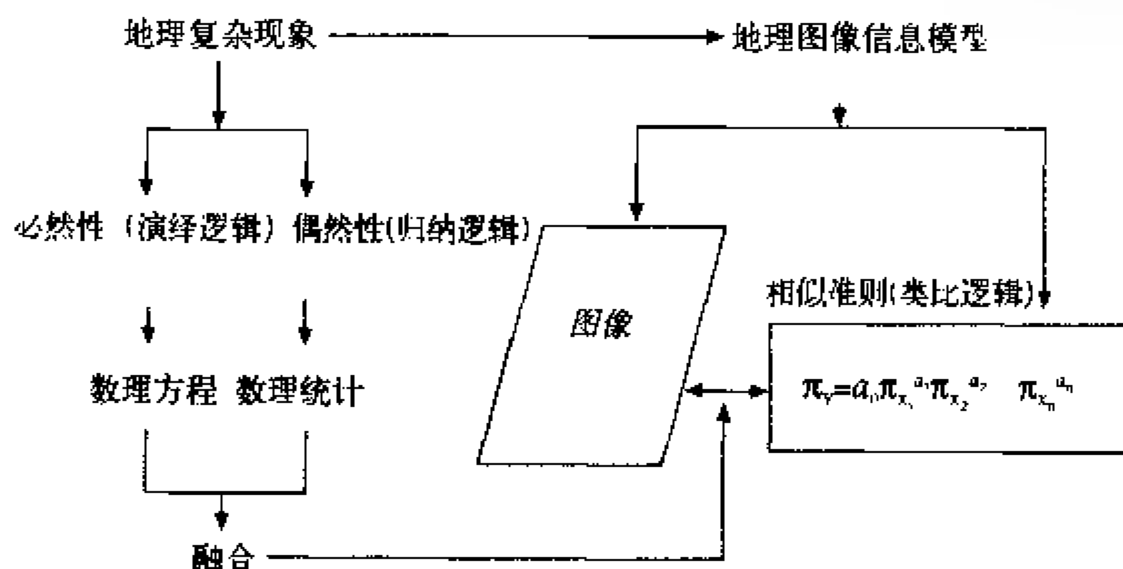


图6—5 演绎、归纳、类比逻辑融合的图像与地理信息模型

是指确定性（数理方程）与不确定性（随机不确定、模糊不确定、灰色不确定、自组织自相似的不确定）辩证地统一在一个方程中，而不是别的复杂性。类比的相似准则，是要拓宽厘米克秒制，从而建立广义的地理相似准则。由于地理信息模型是图像与方程对应的，抽象逻辑与形象逻辑是对应的，地理参数具有区域性、时序性。因此，地理信息模型具有非线性、复杂性、相似性、区域性、时序性的特点。这与地理学中认为地理现象的特点是综合性、区域性来

比较，地理科学把综合性具体化为非线性、复杂性、相似性，把区域性拓宽为区域性与时序性，并且从定性走向了定量，成为可计算的科学，成为可预报的科学。

从逻辑的角度来看确定性方程与不确定性公式之间有如下的关系（图6—6）：

形式逻辑：外延 内涵	外延确定 内涵确定	外延不确定 内涵确定	外延确定 内涵不确定	外延不确定 内涵不确定
数学逻辑	白色系统	模糊系统	灰色系统	黑色系统
数学方法	数理方程	模糊数学	灰色数学	随机统计数学

*　数理方程中有部分方程是自组织自相似的不确定性

图6—6　确定性与不确定性的内涵与外延

上表是对形式逻辑中的排中律的破缺，由以后的阐述我们可以看到从形式逻辑到辩证逻辑的发展关系。

由于地理现象是必然性与偶然性融合的复杂现象，因此用演绎、归纳、类比相结合的数学方法来解决。从逻辑的角度来看，无论是定性还是定量问题，无非是分演绎推理、归纳推理、类比推理三种类型。数学物理方程属于演绎推理的定量方法；数理统计公式属于归纳推理的定量方法；地理现象推理用类比的方法比较多，但是过去很少用地理相似准则来进行定量计算。作者经过长期的研究，认为只有将演绎（数理方程）、归纳（数理统计）、类比（相似准则）融为一体的数学方法，建立非线性、复杂性、相似性、区域性、时序性的地理方程，才能解决地理复杂现象的定量问题。为此，作者曾经做了十几种地理遥感信息模型[29]，发现了一种适合于地理复杂现象的一般地理方程。该方程的特点是：随区域性地理参数可

变，确定性与不确定性辩证地随时空变化，随着科学技术的进步，研究深入的程度，地理复杂方程是可发展的[32]。该模型的特点，是图与数对应（图 6—7）：

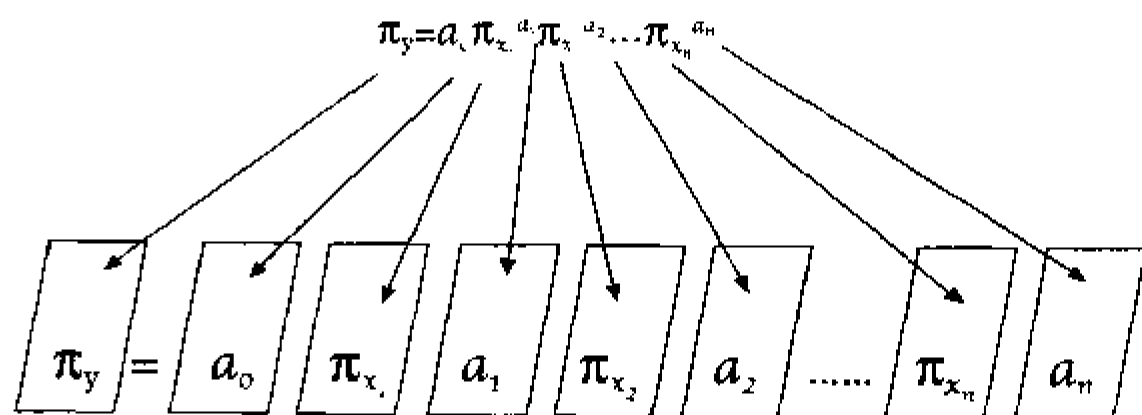


图 6—7 图与数对应

式中 $\pi_y, \pi_{x1}, \pi_{x2}, \cdots, \pi_{xn}$ 为地理相似准则，a_0 为地理分布系数，并代表省略号中尚未白化的因子，实际上属于“随机黑箱”，$a_1, a_2, \cdots, a_n = a_i$ 为地理分布指数，当分布指数发生不同的变化时，有如下关系：

① 当 $a_i (i = 1, 2, \cdots, n) = 0$ 时，$\pi_{x1}{}^{a_i}$ 与 π_y 无关；

② 当 $a_i (i = 1, 2, \cdots, n) = 1$ 时，$\pi_{x1}{}^{a_i}$ 与 π_y 为线性关系；

③ 当 $a_i (i = 1, 2, \cdots, n) = \dfrac{N}{M}$ 时，其中 N 与 M 为整数，$\pi_{x_1}{}^{a_i}$ 与 π_y 为分形自相似关系；

④ 当 $a_i (i = 1, 2, \cdots, n) = \dfrac{N(x, y, z, t)}{M(x, y, z, t)}$ 时，$\pi_{x1}{}^{a_i}$ 与 π_y 为一般时空关系。

该式是部分白化、部分黑箱的，因此是一个非线性的灰色方

程。求解地理方程时，两边取对数，则有

$$lg\pi_y = lga_0 + a_1 lg\pi_{x1} + a_2 lg\pi_{x2} + \cdots + a_n lg\pi_{xn} \qquad (2)$$

对(2)式进行分析，令两端都等于1，则有

$$lg\pi_y = 1$$

$$lga_0 + a_1 lg\pi_{x1} + a_2 lg\pi_{x2} + \cdots + a_n lg\pi_{xn} = 1$$

式中 $a_1, a_2, \cdots, a_n$ 实际上是各因子团的权重。专家打分实际上也是要给出权重，在我们的公式中，不需要人为的打分，用实测数据自动给出权重。这里的权重也就是模糊数学中的隶属度，因此是具有多元的模糊数学。

进一步讨论地理分布指数 $a_i(i = 1,2,\cdots,n)$ 与地理分布系数 a_0 的关系时，可见

⑤　当 $a_0 = 1$ 时，是确定性问题

例如，在确定的牛顿第二定律中，将等式两边除以 ma，有，$F/ma = 1$；又如确定的爱因斯坦质能公式 $E/mC^2 = 1$，这些说明完全确定性的物理方程问题是(1)式的特例。

⑥　当有 $a_0 = a_0$ 时，是随机性问题

例如，在随机的谢才公式 $v = k\sqrt{ghi}$ 中，将等式两边除以 $\sqrt{ghi}$，有 $v/\sqrt{ghi} = k$(即 $a_0 = a_0$)，这说明完全不确定性的随机问题也是(1)式的特例。

人类的现代科学史大约500年，而人类社会有文字记录的历史大约5000—6000年，人类的进化历史大约200万年，地球的历史大约46亿年，我们怎么可能用一个一成不变的数学公式把规律框死呢？式(1)是一个可以从删节号中不断地提出新相似准则的方程，随着地理现象变化的周期，日变化必须每天计算，不断修整地理参数，年变化必须每年计算，不断修整地理参数，不断地提高准

确度和精度。

由此证明了地理非线性复杂方程是集演绎、归纳与类比(相似理论)为一体的,确定性与不确定性(随机不确定性、灰色不确定性、模糊不确定性、自组织自相似不确定性)辩证统一的,图像与数据对应的,即抽象思维与形象思维对应的定量计算方法 这是西方科学还原论所不及的,只有具有辩证逻辑的东西方式结合的复杂系统论才能解决的。其中的形象思维不是低阶段的感性认识,而是在抽象思维基础上的形象思维,图像的计算。

因为撰写本文的需要,我翻阅有关书籍,发现钱学森早在1986年1月25日给就致信浦汉昕,在信的结尾提出:"地理学里已经有了'相似理论'了吗?'相似理论'有没有道理?"[34]这的确令我震惊,兴奋不已。钱学森的地理科学思想与他的科学思想是一致的,真可谓一通百通,路路通。我们的研究早已在他的预料之中了,如果钱学森是一个地理学家,我想他会早我们的研究十年就提出上述非线性、复杂性的地理方程的。

6.5 钱学森论地理哲学

地理学家黄秉维院士在评论地球表层研究时,发表了如下重要观点:一、肯定了地球表层不是一个面,而是一个层,该层是一个巨系统;二、要用系统学和系统工程的方法来研究这个巨系统;三、提出一些有重要意义的研究课题。为此,黄秉维提出了华南坡地利用与改良、解决华北水源短缺和黄河隐患的途径、西北干旱区开发三个问题,指出钱学森虽然"不是天、地、生的科学家,却是见闻甚广,博学多思的科学家。我觉得他有点像在天地生领域上回旋的苍鹰,具有搜索追击移动目标的本领,一发现目标,即疾下猎取。

他不受天、地、生行业的束缚，看问题比我们株守于一个学科的人更敏锐、更准确。”[35]黄秉维看到了钱学森居高临下的才能。什么是居高临下的视点呢？实际上就是钱学森的哲学思想。钱学森的哲学观点是很高的，他继承了马克思主义的哲学观点，即辩证的唯物主义。又在当代科学发展的系统论（开放的复杂巨系统）、信息论、控制论、耗散结构、协同理论、突变理论、复杂理论等的基础上，在当代高新技术航天技术、计算机技术等的基础上，在当代可持续发展理论、中国特色的社会主义理论等的实践基础上，发展了马克思主义的哲学观念。因此，在地理科学与马克思主义哲学之间，他认为有一门地理哲学，这门地理哲学的起点当然也是很高的[36]。

地理学界长期以来是很重视哲学思想的，尤其是自然地理，以自然辩证法为指导，有研究自然地理辩证法的历史。但是往往由于地理现象太复杂，研究深入不下去，各个要素之间牵连不能分割，用还原论的方法无法解决，因此又退回到哲学的层次，用辩证唯物主义哲学解释地理现象。这样做是无法使地理学成为科学的，只能停留在哲学的层次上。钱学森的地理哲学是建立在马克思主义哲学与地理科学之间的“桥梁科学”，以地理系统是开放的复杂巨系统为理论基础，以从定性到定量的综合集成方法为手段，以国民经济总体发展部为实践对象的思想，作为地理哲学的核心。在我们研究的天地信息一体化网络系统、人地协调系统、地理遥感信息模型的实践中，提出的航天信息与地面信息辩证统一概念，社会系统与地理系统的辩证统一概念，以及集确定性与不确定性辩证统一的地理复杂方程，大概可以属于地理哲学的内容。我们是从具体地理科学对象的研究，上升到地理哲学上去的，与钱学森从普遍哲学规律指导地理哲学的研究，应该是殊途同归的。

作为晚辈，才疏学浅，仅就自己的地理研究，对钱学森地理科

学思想的体会，阐述一己之见，没有研究过的领域不敢造次，希望地理科学界、系统科学界、以及相关科学界给予指正，更期望钱学森先生的指教。

参 考 文 献

1 钱学森等:《论地理科学》,浙江教育出版社 1994。
2 鲍世行,顾孟潮。《杰出科学家钱学森论城市学与山水城市》,中国建筑工业出版社,1996。
3 王寿云等:《开放的复杂巨系统》,浙江科学技术出版社,1996。
4 马蔼乃:《论地理科学的发展》,《北京大学学报(自然科学版)》,1996,32(1),第 120—129 页。
5 钱学森:《发展地理科学的建议》,《论地理科学》,浙江教育出版社,1994,第 36—46 页。
6 章申:《环境科学研究与进展》,科学出版社,1980。
7 马蔼乃:《地理信息系统与地理信息科学》,《地理科学与地理信息科学论》,2000,第 137、320 页。
8 许国志主编:《系统科学》,上海科技教育出版社,2000,第 14 页。
9 马蔼乃:《地理科学与地理信息科学论》,武汉出版社,2000。
10 钱学森 1988 年 10 月 17 日给于景元的信,《开放的复杂巨系统》,浙江科学技术出版社,1996,第 264—265 页。
11 钱学森:《1990 年 11 月 7 日给孙凯飞的信》(尚未正式发表)。
12 于景元,王云寿,汪成为:《社会主义建设的系统理论和系统工程》,1991.1 21,23 科技日报。
13 钱学森:《要区别"地球科学"和地球表层学》,《论地理科学》,浙江教育出版社,1994,第 59—66 页。
14 钱学森:《就"地理科学"答《地理知识》记者问》,《论地理科学》,浙江教育出版社,1994,第 90—93 页。
15 马蔼乃:《可持续发展与长江地区发展战略》,1999。
16 钱学森:《一代楷模,风范永存》,1990 年 3 月 7 日在竺可桢诞辰一百周年纪念大会上的讲话,《地理科学》,浙江教育出版社,1994,第 113—123 页。

17 钱学森:《现代地理科学系统建设问题》,《论地理科学》,浙江教育出版社,1994,第82—86页。

18 许国志主编:《系统科学》,上海科技教育出版社,2000,第305 306页。

19 钱学敏:《地理系统与社会系统》,《开放的复杂巨系统》,浙江科学技术出版社,1996,第195—239页。

20 浦汉昕:《地球表层的系统与进化》,《论地理科学》,浙江教育出版社,1994,第16—24页。

21 钱学森:《保护环境的工程技术 环境系统工程》,《论地理科学》,浙江教育出版社,1994,第25—32页

22 钱学森:《生态经济学必须关心长远的环境问题和资源永续》,1984年2月14日在全国生态经济科学讨论暨中国生态经济学会成立大会开幕式上的讲话,《论地理科学》,浙江教育出版社,1994,第33—35页。

23 刘国光,马蔼乃,文伏波主编:《长江地区可持续发展丛书》(8册),武汉出版社,1999。

24 钱学森:《关于地学的发展问题》,《论地理科学》,浙江教育出版社,1994,第69—78页。

25 钱学森:《现代地理科学系统建设问题》,《论地理科学》,浙江教育出版社,1994,第79—89页。

26 Waldrop, M 《Complexity》. 1995. 陈玲译《复杂》,生活·读书·新知三联书店,1997。

27 钱学森等:《 个科学新领域—— 开放的复杂巨系统及其方法论》,《论地理科》浙江教育出版社,1994,第94—112页。

28 马蔼乃:《航天信息与地理信息 体化网络系统及其应用》。《北京大学学报(自然科学版)》,1998,34(4),第533—541页。

29 马蔼乃:《遥感信息模型》,北京大学出版社,1997,第1—165页。

30 马蔼乃:《地理信息编码模型》,《地理科学与地理信息科学论》,武汉出版社,2000,第283—302页。

31 Ma Ainai and Chen Fangyun. Digital Space and Earth System with Composite Satellites System. 1999 Proceedings of the International Symposium on Digital Earth. p.205 207。

32 马蔼乃:《遥感信息模型与地理数学》,《地理科学与地理信息科学论》,武汉出版社,2000,第248—257页。

33 马蔼乃:《地理图像信息模型》,《地理科学与地理信息科学论》,武汉出版社,2000,第234—247页。
34 钱学森《1986年1月25日给浦汉昕的信》,《论地理科学》,浙江教育出版社,1994,第261 262页。
35 黄秉维:《关于地球表层研究的一些看法》,中国科协二届二次全委会学术论文,《论地理科学》,浙江教育出版社,1994,第47 58页。
36 钱学森:《要从整体上考虑并解决问题》,1990年12月31日,《人民日报》,第二版。

第 7 章　钱学森论军事科学

军事科学是反映军事斗争(特别是战争)客观规律和军事斗争指导规律,用以指导国防与军队建设、军事斗争准备与实施的知识体系。[1]

钱学森长期担负我国国防尖端科技事业的技术领导工作,一直十分重视研究军事科学有关理论,提出了许多深思熟虑的创见。这既是出于他从事的国防科技发展与导弹、卫星研制必须服从军事战略需要,因而与军事科学有必然的联系;同时也是出于钱学森对国防和军队现代化建设事业的关切,希望通过现代科学技术与军事科学的结合,推动军事科学的现代化,以更好地发挥军事科学在国防现代化中的理论先导作用。正如钱学森 1979 年所说:"实现国防现代化就要实现军事手段的现代化和军事科学的现代化"。[2]

钱学森对军事科学研究有多方面的创见,本章仅就笔者有限的了解和学习认识,从军事科学体系建设、军事科学研究方法革新以及未来战争模式及其对军事科学挑战这三个方面说明钱学森关于军事科学现代化的创新见解。这些见解已经并将继续经受实践和时间的考验,对我国国防和军队现代化建设发挥重要作用,并推动新时期我军军事科学理论在党的三代领导核心军事思想指引下的创新发展。

7.1 关于军事科学体系建设

军事科学体系建设的首要问题是研究确定军事科学的定位及其体系结构,即明确军事科学是怎样的知识体系,它应包括哪些学科以及这些学科相互间有怎样的关系。这是军事科学理论研究的重大问题,只有建立科学、合理而又相对稳定的军事科学体系结构,才可能有力地推动军事科学迅速发展,并为更好地制定军事科学发展规划和人才培养规划提供必要的理论依据。

关于军事科学的定位,钱学森有过多次论述。1986年钱学森在全军战役理论研讨会上发言,根据人类对战争规律认识的发展历史论证道:“战争的确是一门科学,我们要用现代科学技术来研究战争的规律,研究战争这一门科学,这就形成了现代的军事科学”。他多次谈话指出,军事科学是一个独立的学科部门,是和自然科学、社会科学等平起平坐的一个很重要的部门,要“根据邓小平理论的指导,深入地去研究军事科学,然后提出中国人民解放军建设的大方向”,为总部决策“提供整体方案”。他认为,军事科学的意义“已超出了军事范畴”,“所谓军事科学就是斗争的科学,除了用兵器斗之外,还有许多‘斗’的手段”。“孙子兵法是军事哲学,军事哲学是马克思主义哲学的一部分,它是有普遍意义的。”所以,军事科学研究“要打开门”,一方面把军事斗争的方法、策略推广应用于经济、外交等领域,另一方面又从经济、外交等领域的竞争、斗争中汲取对军事科学有用的东西。

关于军事科学的体系结构,钱学森也有过多次论述。早在20世纪70年代末,钱学森就根据世界科学技术发展及我军现代化建设的需求,敏锐地提出建立军事运筹学和军事系统工程学的倡

议，[3] 为军事科学研究开辟了新的领域。

1998年3月，在总装备部举行的“军事系统工程学研究发展20年报告会”上，钱学森在亲笔撰写的书面发言中，再次阐述他关于学科体系划分的看法，即一个大学科部门可分为三个层次：基础理论层次、技术理论层次和应用技术层次。并明确指出，军事科学作为一个大的科学部门，“基础理论层次是军事学，技术理论层次是军事运筹学，应用技术层次是军事系统工程。”[4]

在钱学森构建的军事科学体系结构中，处于基础理论层次的军事学是“研究军事建设和军事斗争的规律及其应用的理论学科”，[5] 包括战略学、战役学、战术学、军事指挥学、军制学等。

处于技术理论层次的军事运筹学是应用科学技术方法研究军事活动，为决策优化提供理论和方法的新兴军事学科，它“研究的内容、应用的范围，可以说覆盖了军事科学的各个基础理论学科。”[6] 如军事力量建设和运用的筹划、战时对战争全局问题和平时对军事斗争全局问题的运筹；战役战斗行动的优化；军事指挥的科学决策；军队规模、编制体制的论证；后勤保障、技术保障的运筹；武器装备的体系建设方案和全寿命管理；军队人力资源的规划和管理，以及军备控制的研究和方案拟制，等等。因此，军事运筹学同军事学一样，不是一个单一学科而是一个学科群，包括如战略运筹学、作战指挥运筹学、武器装备建设运筹学、后勤运筹学、军制运筹学等等分支学科。

处于应用技术层次的军事系统工程学是研究应用科技方法和手段，进行军事活动组织与管理的新兴军事学科。它要研究的不是军事学术思想、军事战略这些根本性问题，“而是在这些根本性问题解决以后，如何更好地去贯彻执行的问题，也就是技术性问题。”[7] 由于军事活动的多样性，所以，军事系统工程学也不是一个

单一学科，而是一个学科群。按照组织与管理的对象区分，它可以包括一系列分支学科，如“国家安全系统工程、作战系统工程、组织系统工程、法规条令系统工程、武器装备建设系统工程、指挥自动化系统工程”[8]等等。

钱学森关于军事科学体系建设的创见与目前军事学术界一般看法相比有三个显著区别。

一是军事科学的定位。钱学森不是把它从属于社会科学领域，而是把它看作是与自然科学、社会科学等并列的独立的大科学部门。这反映了他对军事科学研究对象矛盾特殊性的深刻理解，对当前历史阶段人类各种斗争的客观规律的总结概括。

二是军事科学体系结构层次划分原则。对结构的一般看法虽然也把军事科学分为三个层次，但上一层次和下一层次学科间是包含与被包含或整体与局部的关系。如一级学科是军事思想，下面二级学科可分古代军事思想、外国军事思想、毛泽东军事思想等等，而一级学科的划分则着眼于在现状基础上的管理。

钱学森构建的体系结构是按知识在人们认识世界和改造世界中的作用来划分层次的。基础理论层次学科的任务重在认识客观世界，回答“是什么”、“应当做什么”的问题，并在此基础上对客观世界改造起指导作用；技术理论层次的任务重在把认识世界的成果转化为指导改造客观世界的理论方法，回答“能做什么”、“用什么方法做”的问题；应用技术层次学科的任务则重在研究改造客观世界的技术和手段，回答“怎样做”的问题。这种划分的着眼点是推动军事科学成果向现实战斗力的转化。

三是军事运筹学和军事系统工程的学科定位。钱学森充分估计近30年来高新技术在军事中应用所引发的世界军事革命对军事科学发展的深刻影响，明确地把这两个学科定位分别提升到军

事科学的技术理论层次和应用技术层次。

钱学森关于军事科学体系建设的创见，特别是所构建的军事科学体系结构是他自觉地运用马克思主义哲学特别是辩证唯物主义，在毕生科学技术实践经验基础上，立足当代科学技术发展对人类知识体系形成、发展规律进行深刻分析归纳而做出的重大理论概括，具有坚实的理论根据和实践根据。

从理论上说，科学的目的在于认识世界和改造世界。军事科学源于军事实践，通过从实践到认识的飞跃，认识客观世界，又通过从认识到实践的飞跃，改造客观世界并深化对客观世界的认识，达到科学的目的。这两个飞跃不能互相代替，都有自己的学问。军事科学体系结构要更有效地推动军事科学发展，就必须符合军事科学发展基本规律的要求，既重视认识世界的学问，又重视改造世界的学问。这就要求体系结构中既有侧重认识世界的学科，又有侧重改造世界的学科，而且这两种学问要具有"平等"层次级的地位。这样就能促进军事科学应用于军事实践，从而也促进军事科学更快地发展。

从实践上说，人类知识体系由低级到高级的发展充满分化与交融，明显的趋势是既有自然科学与社会科学的交融渗透，又有知识体系中科学、技术与工程的分化。军事科学体系结构也不是一成不变的，它应随着军事斗争客观需求的发展而发展，具有鲜明的时代性和前瞻性。新时期军事斗争现实对军事科学发展的突出要求是反映现代科学技术对军事领域广泛而深刻的影响，围绕"打得赢"、"不变质"两大历史性课题，创新军事科学理论，加速军事科研成果向军队战斗力的转化。这就要求在军事科学体系结构中，重视认识向实践转化的学科，加强现代科技与军事科学的结合。这正是钱学森构建的军事科学体系结构的特点所在。

钱学森关于在军事科学体系内建立军事运筹学与军事系统工程的倡议，得到人们广泛重视。在军委总部关心和有组织的推动下，军事运筹学和军事系统工程已成为军事科学体系中最富生机、专业研究人员增加最快的学科之一。经过20多年的努力，军内外涉及这两个学科的专业性研究、教育单位已达100个以上，专业人员千余人，军队院校普遍设立了相关课程，博士生培养单位4个，硕士生培养单位20余个，军事运筹学会和军事系统工程专业委员会举行年会、学术研讨会30多次，出版论文集十余本约70万字。军事运筹学和军事系统工程的研究与应用，为解决国防和军队现代化建设及军事斗争准备中的许多重要问题，如国防科技发展战略研究、武器系统论证、军队训练模拟化、作战指挥自动化以及军队管理信息化等做出重要贡献，取得明显军事效益和经济效益，显示出把军事基础理论的一般指导转化为军队建设和军事斗争准备实践的独特作用，日益引起各级指战员的重视。

军事科学院原副院长糜振玉在"军事运筹学学科建设与创新研究的两点想法"中指出："钱老对军事运筹学的'定位'是十分科学的，也是非常符合军事科学发展实际的"，一定"要落实钱老对军事运筹学的'定位'，真正发挥军事运筹学理论方法对国防建设、军队建设和高技术战争中的作用。"[5]

7.2 关于军事科学研究方法的革新

军事领域是充满复杂性和偶然性的领域，对这样的领域，研究方法是否有效、得当，关系到能否取得深刻反映客观规律、有力指导正确行动的军事科研成果。

传统的军事科学研究方法，主要就军事学而言，是社会科学领

域广泛应用的定性分析、思辨判断方法,如史料搜集、分类比较、归纳演绎、分析综合、概括总结等,一般称之为军事学术方法。它赋予军事科学以艺术的特性。19世纪初叶,克劳塞维茨甚至把军事科学称为军事艺术,他描述道:“在这里智力活动离开了严格的科学领域,即离开了逻辑学和数学的领域,而成为艺术(就这个词的广义而言),也就是成为一种能够通过迅速的判断从大量事物和关系中找出最重要和有决定意义的东西的能力”。[9]

在马列主义、毛泽东军事思想指引下,应用这种军事学术方法已经在军事基础理论研究与应用方面取得一大批有价值的成果,有力地促进了具有中国特色的军事科学的发展,为军队现代化建设和军事斗争准备做出了显著贡献。

但随着高新技术武器装备应用的迅猛发展,军事力量建设和运用的复杂性和不确定性急剧增加,在军事科学中,有关军事斗争准备和国防建设、军队建设的那些学科,传统的定性分析思辨判断方法,显得不能满足深化研究的需要。特别是在有关现实问题的研究上,有的研究讲一般原则多,讲如何具体做少;讲应当如何做多,论证必要可行性少;讲大而化之的道理多,分析深层次难点问题少,因而显得很不深入,很不系统,有分量的成果还不多。

钱学森敏锐地把握住国防现代化对军事科学研究方法革新的需要,就军事科学研究方法的革新提出了许多有重要影响的创见。

(1)利用现代科学技术的新成果革新军事科学研究方法,大力倡导作战模拟技术的研究和应用。

钱学森在1979年《军事系统工程》一文中指出:“要利用现代科学技术的新成果来帮助搞好新武器研制……和军事学研究的问题 所谓现代科学技术新成果特别是指运筹学的发展和电子计算机的发展。”[10]

他指出:"从本世纪开始,机关枪、飞机、坦克……电子对抗、核武器、核潜艇、远程导弹、电子计算机、巡航导弹、精确制导武器、航天技术等等,一个接一个地出现在军事舞台上,一次又一次地促进了战争的战术形式甚至战略思想的演变。处在这样一种军事技术急速变革的进程中,一个突出的问题是:如何使军队在和平时期紧紧跟上这种变革的步伐,以避免在一次新的战争开始后,由于不适应作战方式的变化而不得不付出的生命和物质损失。这是各国军队面临的课题,也是我军实现现代化建设所面临的一个研究课题。解决这一课题的途径是:模拟实际战争的实验室演习……。"[11]

"战术模拟技术,实质上提供了一个'作战实验室',在这个实验室里,利用模拟的作战环境,可以进行策略和计划的实验,可以检验策略和计划的缺陷,可以预测策略和计划的效果,可以评估武器系统的效能,可以启发崭新的作战思想。"[12]

"作战实验是军事科学研究方法划时代的革新"。[13]

1985年,钱学森在全军第一次作战模拟经验交流会上发表了题为"作战模拟是门重要的科学技术"的报告,又进一步阐述了作战模拟的作用,并指出作战模拟技术不只用于军事,也可以用于经济、外交等领域。

钱学森关于从"作战实验室"学习战争的见解充分考虑了现代军事技术急速变化的新情况,完全符合认识来源于实践这一客观规律的要求,也为近20年来国内外军事科研实践所证实。美国率先研究军事革命的现任国防部基本评估办公室主任安德鲁·马歇尔博士在谈到军事革命研究时说:"我们已经进行了相当多的作战模拟,我们还要做更多的作战模拟,在做出决定之前,将会多次通过计算机进行实验。"[14]正是他于1994年在美国海军学院进行设想2020年同中国打仗的作战模拟,使军事革命成为热门话题。

在军委、总部的重视和钱学森等老一辈科学家的指导下，我军作战模拟迅速发展起来。20年来军内外建立的作战模拟系统达200余个，在军事模拟训练、武器装备效能评估、兵力规划、战法研究等方面发挥了不可或缺的重要作用。

为适应我军跨世纪发展和世界军事领域深刻变革的要求，我国国防领域正在积极应用作战模拟技术的新进展特别是分布交互仿真技术提供的能力，大力开发面向联合作战需要的高质量作战模拟系统和作战实验室，为军事科学研究、指战员训练提供尽量接近作战实际的实验手段。

(2)提出"从定性到定量综合集成方法"，为研究复杂军事系统问题提供了有效的处理途径。

1989年，钱学森等同志根据开放的复杂巨系统研究中遇到的问题，提出了"从定性到定量综合集成方法"。这个方法"通常是科学理论、经验知识和专家判断力相结合，提出经验性假设(判断或猜想)；而这些经验性假设不能用严谨的科学方式加以证明，往往是定性的认识，但可用经验性数据和资料以及几十、几百、上千个参数的模型对其确实性进行检测；而这些模型也必须建立在经验和对系统的实际理解上，经过定量计算，反复对比，最后形成结论；而这样的结论就是我们在现阶段认识客观事物所能达到的最佳结论，是从定性上升到定量的认识。"[15]这样得出的结论和政策建议，"既有定性描述，又有数量根据，已不再是先验的判断和猜想，而是有足够科学根据的结论。"[16]

这个方法的实质"是将专家群体(各方面有关的专家)、数据和各种信息与计算机技术有机地结合起来，把各种学科的科学理论结合起来，这三者本身也构成一个系统。这个方法的成功应用就在于发挥这个系统的整体优势和综合优势。"[17] 1992年，钱学森进

一步提出了这种方法的应用形式——"从定性到定量综合集成研讨厅体系",[18]这是基于分布式网络环境的群体决策支持环境。

钱学森提出的综合集成方法论回答了上一世纪80年代军事运筹学与军事系统工程学研究应用中出现的困惑,即为什么只靠现有的科学理论和定量方法,不能可信地建立复杂作战系统的模型,也不能有效地解决复杂军用系统的问题。

综合集成方法论在军事科学研究中的应用,大大提高了关于复杂军事问题,特别是战略方案、国防规划之类高层次综合性问题对策性研究成果的可信性和满意程度,是军事科学研究方法的重大创新。

在综合集成方法论的启示下,90年代以来在解决军事建设与运用的一系列问题中,广泛注意了把军事学与军事运筹学、军事系统工程密切结合起来。既深化了军事基础理论的研究,又推动了军事运筹学与军事系统工程的发展。

90年代中期开展的深化国防科技发展战略研究,应用综合集成方法论,定性定量结合,提出了从体系对抗要求出发、以武器装备体系建设为中心发展我国武器装备的总体思路,为研究制定我军跨世纪武器装备发展战略提供了有效的支持。

7.3 未来战争模式及其对军事科学的挑战

未来战争模式是国防建设和军事斗争准备迫切需要回答的重大现实问题,也是军事科学需要深入研究的重大理论问题,在世界军事领域经历深刻变革的历史时期中,我军要处于主动地位,抓住机遇,实现跨越式发展,就必须对社会技术形态由工业化向信息化转型期、未来战争模式有科学的预测。

钱学森自觉地应用马克思主义哲学思想，研究海湾战争显现的高技术战争特点，及海湾战争后国内外对世界军事领域深刻变革的讨论。经过深入系统的思考，提出了关于战争模式划分、社会经济与战争模式关系、21世纪战争形式及我军如何应付等一系列迫切需要研究的军事科学研究重大课题。

1995年7月，钱学森在国防科工委首届科技学术交流大会的书面发言中，用下面一段话概括了他关于未来战争模式的见解："从人类历史的进展看，最初出现的战争是徒手战争；然后有了冶炼技术，才出现了冷兵器战争。继之，是由于火炸药的发明，才出现热兵器战争。科学技术的进一步发展，又导致内燃机的制造和其他机械兵器的制造，于是战争又进而演化为机械化战争。到了本世纪50年代，更因核技术和火箭技术的发展，出现了远程核武器。远程核武器的巨大破坏力，再加现在高度发展的信息技术和电子计算机技术，便形成现阶段和即将到来的21世纪的战争形式：核威慑下的信息化战争。"[19] 1998年他又进一步指出，未来战争是"核威慑下陆、海、空、天、信息战的一体化战争"。钱学森认为，这种战争模式还是未来的事物，"海湾战争只是高新技术战的过渡型，未来战争不会是这个模式。"但我们现在就应当着手准备应付。他提出，为了应付未来战争，应当"将中国人民解放军组建成为21世纪的信息化人民军队"。[20]他认为，应当研究"什么是现代战争和下一阶段战争的技术和装备问题。"同时，他又提出"应付核威慑下信息化战争，战士需要具备大学文化水平，更不用说指挥员、领导干部了。"[21]

实际上，早在90年代初，在有关军队现代化问题讨论会上，钱学森就指出："军队要现代化，首先军人的文化水平要大大提高。将来战士要有大专以上文化，领导干部要有硕士文化水平，将军要

有博士文化水平。现代化战争所用的武器装备那么复杂,没有高水平的人才使用它,是发挥不了作用的。"[22]

钱学森关于未来战争模式的判断是对海湾战争后我国国防领域专家学者关于高技术战争研讨意见的综合集成与科学概括。它深刻地反映了军事与技术相互作用的客观规律,既充分预测到信息革命对军事领域深刻而广泛的作用,又恰当地估计到核武器继续存在将对军事领域的必然影响,这是现代军事科学研究的一项重大课题,指明了研究"打得赢"、"不变质"两大历史性军事科研课题必须面对的挑战。这也是一项重大理论成果,对我国国防建设和军事斗争准备的筹划具有重要意义。

江主席在军事科学院建院40周年庆祝活动时指出:"军事科学研究要在继续加强基础研究的同时,把主要力量投入到现实问题的研究上来。现实问题研究透了,我们对现代国防建设的特点和规律的认识,对未来军事斗争准备的特点和规律的认识,对新形势下治军的特点和规律的认识,就会大大深化,我们的工作就会加强针对性和更加富有成效,在未来作战中就能立于不败之地"。未来战争模式是牵动一系列问题的现实问题,我们应在钱学森关于未来战争模式研究的基础上继续深入地探索下去。

7.4 一点体会

钱学森在军事科学体系建设、军事科学研究方法革新以及军事科学前沿课题——未来战争模式方面所做的一系列开创性研究,贯穿一个指导思想,就是要把现代科学技术成果注入到军事科学领域,使军事科学在体系上、方法上、内容上现代化,从而更有效地推动军事科学发展,促进军事科学应用于军事实践。

这正体现了技术进步推动军事发展的客观规律要求。恩格斯说过:"一旦技术上的进步……用于军事目的,它们便立刻……引起作战方式的改变甚至变革"[23]。然而,正如罗伯特·容克在《比一千个太阳还亮》这本书中所说:"如果只是将军们自己,尽管他们拿出最大的能力,也不可能跟得上军事技术发展上的这些'量子跃迁'。现在他们需要科学家和他们并肩站在一起,科学家们会帮助他们制定计划,并且当技术上每迈进新的一步时帮助他们修改计划。"[24]

钱学森作为科技领域的大师,倾注如此巨大的热情和精力研究军事科学问题,体现了他对国防和军队现代化建设的深切关心和基于对客观规律认识而产生的高度历史责任感,他自觉地运用马克思主义哲学特别是辩证唯物论,着眼于国防建设重大现实问题,运用先进科学方法创新军事科学理论的勇气和求实精神,一定会鼓舞广大军事科研人员为繁荣发展具有中国特色的现代军事科学,更好地服务于国防建设和军事斗争准备而不懈奋斗。

参 考 文 献

1 《中国人民解放军军语》,军事科学出版社,1997,第1页。
但笔者将"军事科学"的释文中"战争"一词改为"军事斗争"。

2 钱学森、王寿云、柴本良:《军事系统工程》,1979年7月在中国人民解放军总部机关领导同志学习会上的讲演稿。见王寿云:《军事系统工程理论与实践》,国防工业出版社,1998,第26—47页。

3 钱学森:《在"军事系统工程学研究发展20年报告会"上的书面发言》,1998。

4 同3。

5 糜振玉:《军事运筹学学科建设与创新研究的两点想法》,《军事系统工程》,1999(2),第9—11页。

6 同5。
7 同2。
8 张最良:《构建新的军事科学体系——兼谈钱学森构建的军事科学体系结构》,《解放军报》,2000年2月8日,4版。
9 克劳塞维茨:《战争论》,军事科学院出版,1965,第1173—1174页
10、11、12 13 同2。
14 陈伯江:《美国高级将领与著名学者访谈录》,世界知识出版社,1998,第43页。
15 钱学森、于景元、戴汝为:"一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论",《论地理科学》,浙江教育出版社,1994,第94—112页。
16 涂元季:《关于开放复杂巨系统理论的一些体会》,《系统研究》,浙江教育出版社,1996,第137页。
17 同15。
18 钱学森:1992年3月2日给王寿云的信。
19 钱学森:《在国防科工委首届科学技术交流大会上的书面发言》,1996。
20 钱学森:《将中国人民解放军组建成为21世纪的信息化人民军队》,《国防科工委科学技术委员会第六届年会论文集》,1997,第1 2页。
21、22 钱学森的一次讲话,1998。
23 《马克思恩格斯选集》第4卷,人民出版社,1995,第514—515页
24 王寿云:《军事系统工程理论与实践》,国防工业出版社,1998,第159—185页。
* 文中引文未注明出处的,均引自钱学森与有关同志的谈话记录稿。

第8章 钱学森论建筑科学

8.1 建筑科学的提出与学科体系的架构

1. 建筑科学大部门的提出：

1996年6月12日，钱学森教授在给钱学敏的一封信中，谈到一本关于山水城市的书时说：不久前（6月4日下午）我同这本书的两位主编（指笔者和顾孟潮）面谈，"那天我们谈得很开心"。兴奋之情跃然纸上。

当天谈了什么问题，致使钱老如此开心呢？他在这封信中说："我们想到可能要确立一门新的科学技术——建筑科学"，"这是现代科学技术体系中的第十一个大部门。这是融合科学与艺术的大部门"。

那么，为什么要提出"建筑科学"这个科学技术的大部门呢？钱老在后来的一封信中说："提出第十一大部门是强调马克思主义哲学的指导"；"现代社会主义中国要有新时代的建筑，新时代的城市"；"不能跟着洋人跑，也不能迷于中国古代皇宫、富家园林、北京四合院、江南水居"。（1996年7月14日给钱学敏的信）他还说："目前这一部门中的现实问题很多，要用马克思主义哲学来推进其解决"。

让我们追溯钱学森对现代科学技术体系构想的发展过程。

早在20世纪70年代末、80年代初，钱老就开始思考和研究现

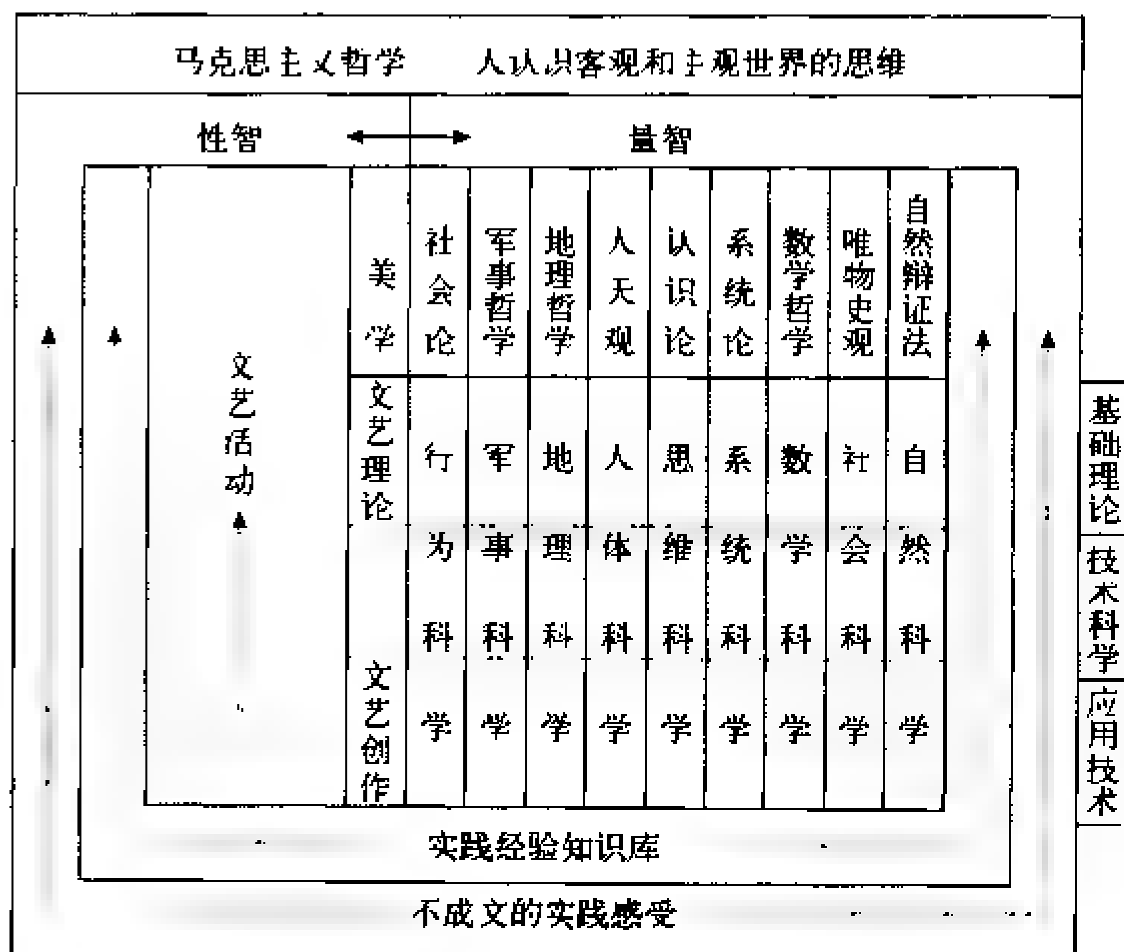


图 8—1

(摘自《科学的艺术与艺术的科学》)

代科学技术体系的问题。钱老的出发点是要"建立起一个科学体系,并运用这个科学体系去解决中国社会主义建设中的问题。"

可是,在1982年以前,钱学森教授在谈到科学技术体系时,是把现代科学技术仅划分为自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学和人体科学六个大部门(《哲学研究》1982年3期)。

随后,在1986年的一篇文章中,钱学森教授说:"后来发现这还不够,忘了我们这些穿军装的了,把军事科学忘了。……军事科学到马克思主义哲学的桥梁是军事哲学。"钱老又说:"文艺作品不

是科学。但是，研究文艺的文艺理论是科学。文艺理论到马克思主义哲学的桥梁就是美学。"还说："今年初，我发现这八门科学、八个桥梁还是不够，发现还有个行为科学。……马克思主义行为科学到马克思主义哲学的桥梁，如果暂时起不出更好的名称，就叫它社会论。"[1]《关于马克思主义哲学和文艺学美学方法论的几个问题》《文艺研究》1986年第1期）

1986年，在第二届全国天、地、生学术讨论会上，钱学森教授又正式提出地理科学作为科学技术的一个大部门。这样与自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、人体科学、思维科学、军事科学、行为科学，还有文艺理论并列，就成为十个现代科学技术大部门。

从这里可以看出，随着实践和认识的发展，这个"现代科学技术体系"是会发展的。而建筑科学作为第十一个大部门的提供是现代科学技术体系发展的一个新的高度。

那么在这之前，钱老在构想现代科学技术体系时，又把建筑放在什么位置呢？原来，在1996年6月4日以前，钱学森教授一直把建筑包括在文学艺术之中。在1982年《我看文艺学》(《文艺世界》1982年第5期）一文中，他说："我曾在谈到科学技术的体系时，把现代科学技术划分为六个大部门：自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学和人体科学，扩大了传统的科学体系。与这相似，我想文学艺术也有六个部门。"钱老认为，这六个文学艺术大部门是，小说杂文、诗词歌赋、建筑艺术、书画造型艺术、音乐和综合性艺术。在说到建筑艺术时，钱老认为："另一个文学艺术的大部门是建筑艺术。我想这不宜只包含土木构筑，还应把环境包括在内，也就是园林艺术，它们本来是一个整体，不能分割。因此这个部门应该称为建筑园林。"[2]

1984年，钱老把技术美学和园林艺术包括在文艺内[3]（《对技术美学和美学的一点认识》《技术美学丛刊》1984年第1卷）；1986年，又把烹饪和服饰美容包括在文艺之内[4]（《美学、社会主义文艺学和社会主义文化建设》《文艺研究》1986年第4期），1987年，又增加了书法[5]（《社会主义精神文明建设与文艺工作》《文艺研究》1987年第1期），这样文艺就有了十一个部门。

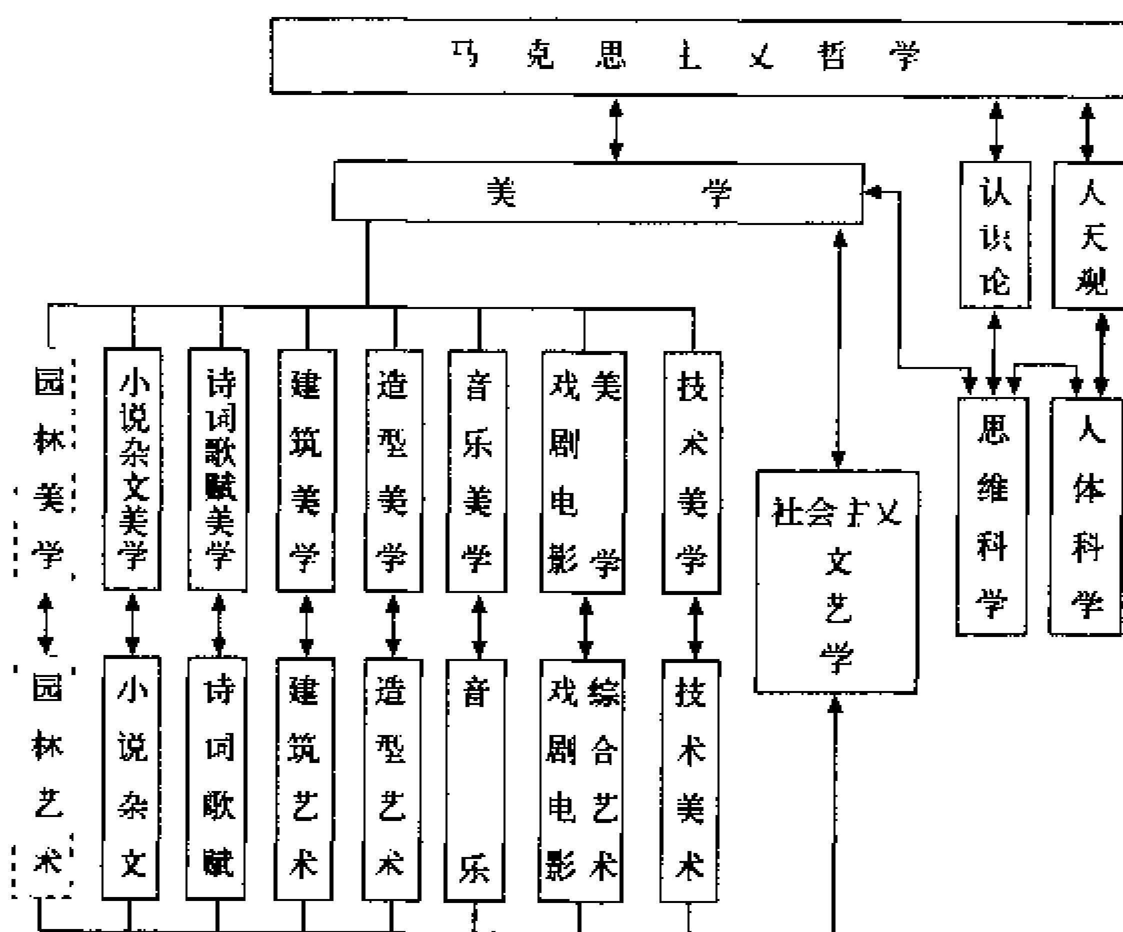


图 8—2
（摘自"对技术美学和美学的一点认识"）

总之，从1982年以来，不管把文学艺术分成多少个部门，钱老都是把建筑和园林包括在文学艺术这个大部门之内的。

至于城市规划和城市学，在1996年以前，钱老都把它们分别划入地理科学的应用技术和应用理论层次。这在《发展地理科学的建议——在第二届全国天地生相互关系学术研讨会上的发言》[6]《大自然探索》第6卷第19期，1987年）和《关于地学的发展问题——在中国科学院第二次学部委员大会上的报告》[7]（《中国科学院地学部第二次学部委员大会文集》）两文中都有阐述。

综上可以看出，把建筑、园林与城市三者作为建筑科学成为现代科学技术体系中的第十一个大部门独立出来，确实是认识上的一大飞跃。它对于建筑科学的理论体系的建立具有巨大的推动作用。

2. 建筑科学大部门学科体系的架构

由于提出了建筑科学这个第十一个现代科学技术的大部门，就形成了如图0—3所示的现代科学技术体系的图表。

1996年11月6日的《人民日报》发表钱学敏"钱学森论科学思维与艺术思维"一文时，披露了钱学森教授增补完成的现代科学技术体系的整体构想图。

认真研读这些内涵十分丰富，意义十分深刻的图表，我们可以体会到：

(1)钱学森教授对建筑科学给以充分的重视。他把建筑科学与自然科学、社会科学等大部门并列，作为第十一个大部门列入了现代科学技术体系，具有深远意义。

现代科学技术体系的建立是伟大的创新行动。钱学森教授在《与〈文艺研究〉编辑部座谈科学、思维与文艺问题》(《文艺研究》1985年第1期）中说："我上面讲的整个知识体系的结构大大超出传统的知识分类法，是经典著作中没有的，是不是"离经叛道"呵？

离经的罪名可能逃不了了,因为'书'上没有呀;但我自以为不是叛道,是根据马克思主义的普遍原理而阐释与发展的。"[8]

(2)建筑科学是科学与艺术相融合的一个大部门。"这一大部门学问是把艺术和科学揉在一起的,建筑是科学的艺术,也是艺术的科学。"[9](《哲学·建筑·民主》)钱老把人类全部科学技术知识分成性智和量智两个部分,其中,文学艺术理论和文学艺术创作属性智,而其他九个部分则属量智。现在他把建筑科学置于性智与量智之间,可能也是基于上述出发点。

钱老在讲到"建筑是科学的艺术,也是艺术的科学"时说:"所以搞建筑是了不起的,这是伟大的任务。我们中国人要把这个搞清楚了,也是对人类的贡献。"[9](《哲学·建筑·民主》)

(3)和其他大部门一样,建筑科学也分作基础理论、技术科学和应用技术三个层次。这是根据什么原则作这样的划分呢?钱老在《关于思维科学》(《关于思维科学》上海人民出版社,1986)中说:"由于人认识客观世界是为了改造客观世界,我们划分层次可以按照是直接改造客观世界,还是比较间接地联系到改造客观世界来划分"。这就是理论的层次——基础理论层次,直接改造客观世界的工程技术——应用技术层次和介乎这两者之间的技术科学层次。"[10]

(4)钱老把建筑科学通向马克思主义哲学的桥梁称为"建筑哲学"。钱老还说:"真正的建筑哲学应该研究建筑与人、建筑与社会的关系"。建筑哲学就是要用马克思主义的世界观和方法论来认识建筑,是要辩证唯物主义和历史唯物论的观点和方法来看待问题,是要解决为谁服务的根本问题。

所谓"桥梁",有两层意思。一方面是现代科学技术大部门要在马克思主义哲学的指导下,也就是要用科学的世界观和方法论

去认识世界、改造世界，并在实践中来检验我们理论的正确性，从实际出发，实事求是地发展现代科学技术的大部门。另一方面，钱老又认为：马克思主义哲学是"人认识客观和主观世界的科学"，它是"人类一切实践经验的最高概括"。马克思主义不是无源之水、无本之木，它是扎根于科学技术中的，是以人的社会实践为基础的，它是要随着人类的社会实践和科学技术的发展而不断发展的。所以，各个科学技术大部门的发展，也会通过这些哲学桥梁的总结、提升，丰富发展马克思主义哲学。

(5)从图0—3中我们还可以看出，科学技术是不断发展的。在科学技术的层次中有"前科学"的层次，它包括了不成文的实践感受，它将再上升为实践经验知识库和哲学思维。它们是科学技术发展的基础和前提。

钱学森同志认为：我们又要清楚地认识到不能纳入现代科学技术体系的知识是很多很多的，一切从实际总结出来的经验，即经过整理的材料，都属于这一大类。我称之为'前科学'即待进入科学技术体系的知识。他还认为，科学技术的体系决不是一成不变的，马克思主义哲学也在不断充实、发展、深化。……人认识客观世界的过程＝实践——前科学——科学技术体系。所以我们决不能轻视前科学(经验科学)，没有它就没有科学的进步；但也决不能满足于经验总结出来的科学而沾沾自喜，看不到科学技术体系还要改造和深化，因此要研究如何使前科学进入科学技术体系。

8.2　建筑科学层次的划分与城市学、园林学的研究

1. 建筑科学层次的划分

钱学森在1998年5月5日给顾孟潮和我的一封信中说："我

近日想到的一个问题是如何把建筑和城市科学统归于我们说的'建筑科学',……。我建议将'城市科学'改称为'宏观建筑'(Macroarchitecture)而现在通称的'建筑'为微观建筑(Microarchitecture)[11]。同时,钱老在讲到园林时也多次把它和城市与建筑联系在一起。他说过:"它们本来是一个整体,不能分割"。因此,钱老所称的"建筑科学"实际上包括了城市、建筑和园林三个部分。

至于建筑科学的层次划分,钱学森教授在1996年6月4日接见我们时说:"我们是不是可以建立一门科学,就是真正的建筑科学,它要包括的第一层次是真正的建筑学,第二层次是建筑技术性理论包括城市学,然后是第三层次是工程技术,包括城市规划"[9]。钱老的这次讲话为建筑科学体系的架构,奠定了基本格局。

对于第一层次,即基础理论的层次,钱老把它称之为"真正的建筑学"。既然称为"真正的建筑学",它当然是一门年轻的学科,这就给我们指出了广阔的探索空间。由于建筑科学包括了城市、建筑和园林三个部分,它理所当然地也应该包括真正的建筑学、真正的城市学和真正的园林学三个部分。

钱老在1996年9月26日给顾孟潮的一封信中曾说过:对建筑科学,其基础理论层次的学问,可以是多门学问,不必限于一门学问。例如,在自然科学这另一个大部门,其基础理论层次就有物理学、化学、生物学,……等。所以在建筑科学这一大部门中,其基础理论层次也可以有多门学问。[12]

对于这三门学科的总称,我设想是不是可以称为"人居环境学"。钱老在接见我们的当天说:"建筑真正的科学基础要讲环境等等。这个观点要好好地学,思想才真正开阔"。后来钱老在1996年9月15日给我的一封信中也曾说过:"我们要用马克思主义哲学来指导,用建筑科学来建立21世纪社会主义中国人居环

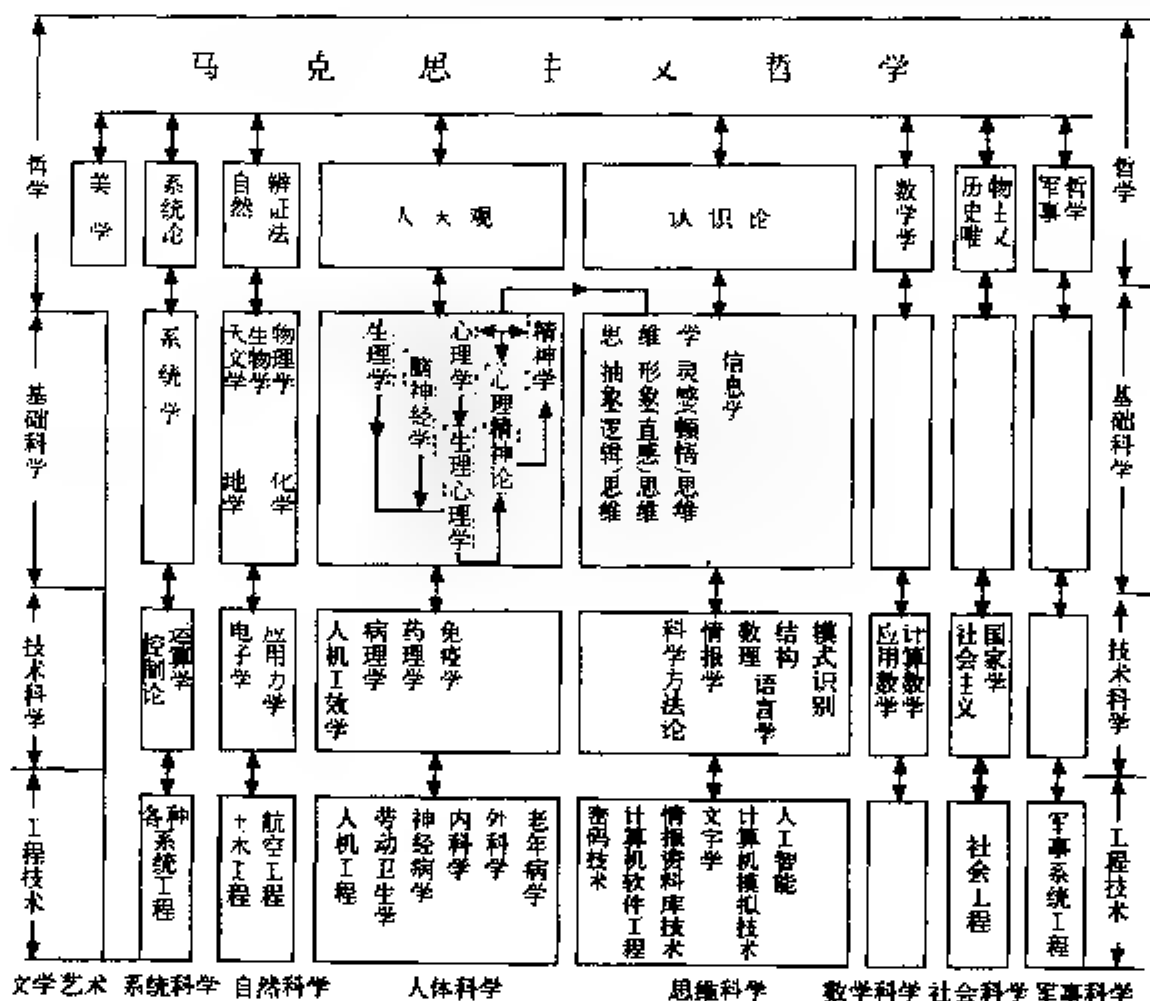


图　8—3

（摘自"关于思维科学"）

境。"[13]可见，建筑科学的中心内容是研究人居环境。

那么，这真正的建筑学、真正的城市学和真正的园林学（笔者认为或许可以称为"广义建筑学"、"广义城市学"和"广义园林学"）应该包括哪些内容呢？作为基础理论层次，它当然是理论性比较强的。它作为广泛吸纳其他科学大部门的综合性理论，应该是建筑科学与自然科学、社会科学、系统科学、数学科学、思维科学、人体科学、行为科学、军事科学、地理科学和文艺理论之间的交叉学科。它是建筑科学与其他科学大部门相通的横向的桥梁。因此、

它必然涉及建筑与人、建筑与社会、建筑与自然、建筑与文化、建筑与科技等相关的内容。

钱老强调科学是个整体，它们之间是互相联系起来的，而不是相互分割的。钱老是从现代科学技术体系的全局和整体来理解建筑科学，把建筑科学置于现代科学技术体系的全体之中，强调它们之间的必然联系。这样，建筑科学就不再是一个孤立的、与其他大部门割裂的部门。由于广泛汲取其他大部门的学术成果，使建筑科学成为生机勃勃的学科，这样它必然会促进建筑科学这个大部门的发展。

最近，我读到上海同济大学陈秉钊教授编写的《城市规划系统工程学》一书。这本书把系统分析的方法运用于城市规划，在这方面作了有益的尝试。如果把系统科学与城市学嫁接，并作理论上的阐述，就可以建立城市系统学(或称系统城市学)。同样，思维科学、行为科学、……都可以与城市学嫁接，当然就不用说地理科学和文艺了，甚至军事科学也与城市学有密切的关系。过去有一门城市防卫学，专门研究城市中的作战等问题。那么，在现代战争下，情况又将会怎么样呢？这些都值得研究。

建筑科学在现代科学技术体系中的建立，确定了它在体系中的地位，明确了上下左右的关系，这就有利于学科之间的相互借鉴，从而必然促进其发展。

当然，交叉学科的建立与发展，需要相关学科的共同努力，这就不仅是建筑科学一家的任务了。

上面关于建立建筑科学基础理论学科的想法还很不成熟，这里提出来，向大家请教。

对于建筑科学的第二层次，即技术科学层次，应该包括建筑技术性理论，如城市学、建筑学、园林学等。技术科学层次的学科是

工程技术的理论基础。钱学森教授十分重视理论的建设，早在1958年8月，他就提出关于建立城市学的设想，以后又与不少学者、专家共同探讨关于城市学的问题。我们在《钱学森建筑科学思想的由来与发展》一文中把钱老的城市学研究总结为六个特点，即：

(1)强调理论探索的重要性。

(2)强调必须用马克思主义的哲学来指导城市学的研究。

(3)强调研究城市要用系统科学的观点和方法。

(4)重视研究城市发展中出现的新事物和新问题。

(5)重视借鉴国外的经验，走出一条中国自己的城市建设道路来。

(6)重视对未来城市的探索。

(鲍世行、顾孟潮、涂元季:《钱学森建筑科学思想的由来与发展》)[14]

对于建筑科学的第二层次，即工程技术层次，现在建筑、城市和园林等专业的学生，在学校里学习的技术与艺术的知识和技巧的相关学科大多属于这一层次，包括建筑设计、城市规划设计、市政工程设计(道路、桥梁、给水、排水、煤气、热力、供电、电讯……等)和园林设计等相关学科。

2. 建立城市学的设想：

早在1985年8月，钱学森同志就提出《关于建立城市学的设想》[15](《城市规划》1985年第4期)。后来又在1991年4月以后先后给我和杨国权(郑州市建筑设计院总工程师)、梅保华(北京市城市科学研究会常务副秘书长)写信谈建立城市学问题。钱老震聋发聩的建议引起了城市科学界广大学者、专家的重视，纷纷撰文研

讨这个问题。城市规划界前辈、中国城市科学研究会发起人之一的曹洪涛来信说："钱老对'城市学'提了多次，这对城市科学研究会是个促进。我也是受此启发，反复思考在城科会已有的基础上如何把城市学的理论研究逐步搞起来。回想中国城市科学研究会建立之前有些设想，也是多少接近一点钱老设想的"《1991 年 12 月 3 日致鲍世行》。在此基础上，在 1992 年 2 月和 3 月，分别由中国城市科学研究会和北京市城市科学研究会主持在天津和北京召开了关于建立城市学的座谈会。

在座谈会的讨论中，许多专家、学者，就城市学研究的任务、对象、内容、步骤等方面提出了许多精辟的见解。在天津的座谈会上，我提出了一个"城市学研究参考大纲"。

城市学研究参考大纲

——城市学的研究对象

——城市的定义与本质

——城市的起源、兴衰与历史演变(城市的形成与发展)

——城市的功能

——城市的经济结构

——城市的社会结构

——城市的人口结构

——城市的空间结构

——城市生态与环境

——城市化

——城市现代化、国际化

——城市与地区(包括城市体系)

——城市管理

——城市体制(城市政府职能)

——未来城市

现在看来这个"大纲"是初步的、不够成熟的。

随后，资深的城市经济学专家、上海城科会副理事长、中国城市经济学会副会长陈敏之研究员又提出了一系列城市学研究的参考问题。

城市学研究的参考问题：

城市学的研究对象

——城市的本质、科学定义、城市的基本特征

——城市作为人类社会的空间存在形式，其经济、文化、宗教的历史背景、风格与个性，历史演变、现代城市形态的选择

——城市的起源及其兴衰

——现代社会生产力的凝聚点，城市与地区的关系

——城市的功能，第二产业与第三产业、城市的经济结构

——城市经济的基础结构，城市基础设施

城市的自我改造、自我发展，城市的运动发展规律

城市现代化与城市改造

——现代城市生活方式

——城市经济社会协调发展

——城市生态和城市病

——城市政府职能与城市管理。(《城市学与山水城市》)

在钱老的号召和推动下，城市学的研究蓬蓬勃勃地开展起来。首先是出版了刘岐、张跃庆、梅保华的《城市学》一书[16](北京燕山出版社出版，1990年9月)。该书的目录如下：

一、城市学的研究对象与方法

二、城市的产生和发展

三、城市的特征与本质

四、城市结构及其运行

五、城市的功能与作用

六、城市现代化与社会化

该书是我国早期城市学著作的代表作。钱老在给作者梅保华的信中说:"可能因为新观点的'城市学'尚在初创时期,概念还不十分明确,所以,写《城市学》确有许多困难!更多的、更完善的城市学思想还得研究。"

11年后的2001年1月,又出版了哈尔滨建筑大学唐恢一教授编著的《城市学》一书[17](哈尔滨工业大学出版社出版)。该书的目录如下:

一、城市与城市化及其发展

二、城市的结构

三、城市化发展的动力因素

四、系统动力学建模方法

五、耗散结构理论的应用

六、混沌城市学

七、基于控制论的规划过程——系统规划

八、城乡系统的可持续发展

九、当代文明与城市对策

该书遵照钱学森关于建立城市学的指导思想,广泛吸收了近年来城市学研究的成果,将城市作为开放的复杂巨系统来进行研究,并汲取了如控制论、耗散结构论、混沌学、分形几何学等新兴学科的科学思维,同时也引入了可持续发展、建设山水城市等新的思想,因此是近年来城市学研究的有特色的学术专著之一。

值得注意的是,1985年8月钱学森写作"关于建立城市学的

设想”一文时，他是把城市学包括在地理科学之中的。因此，他当时设想的城市的科学体系的三个层次，即城市规划——城市学——数量地理学，而城市学是作为一门应用的理论科学，或者说是一种中间层次的技术科学，它既不是应用技术，也不是像自然科学、社会科学那样的基础理论。到1996年，在钱学森提出建立建筑科学这一大科学部门以后，终于有了学术建筑科学三层次的划分。

3．园林学研究：

钱学森同志对建筑科学的研究始于20世纪50年代，其切入点是园林学。早在1958年3月1日，他就在《人民日报》上发表了《不到园林，怎知春色如许——谈园林学》[18]一文。在这篇作为钱老研究建筑科学的第一篇公开发表的文章中，可以说对于建筑科学、山水城市等一些基本观点当时都已初步形成。“谈园林学”一文阐述了如下基本观点：

(1)把中国园林和传统山水画联系起来了，认为“妙在像自然又不像自然，比自然有更进一步的加工，是在提炼自然美的基础上又加以创造”。

(2)园林学和建筑学这“两门学问都是介乎美的艺术和工程技术之间，是以工程技术为基础的美术学科。”

(3)“我国的园林学是祖国文化遗产里的一颗明珠”。在新时代中，它“可以为广大人民服务，美化人民的生活”。

(4)“园林学还要继续有新发展”。

以后，又在《城市规划》1984年第1期上发表了《园林艺术是我国创立的独特的艺术部门》一文[19]。这篇文章讲述了两个观点：

(1)明确了中国的园林是Landscape、Gardening、Horticulture(即景观、园技、园艺)三个方面的综合，而且是经过扬弃，进到更高一

级的艺术产物，从而在理论上首次阐明中国园林何以堪称“世界园林之母”。

(2)系统地论述中国园林的不同观赏尺度和层次。可以看成盆景(微型园林)、窗景、庭院园林和宫苑四个层次。

钱老的这些颇具创见的文章在园林界引起了强烈反响。随后，钱老又提出了“山水城市”的概念。

8.3 21世纪中国城市发展模式——山水城市的探索

钱学森教授正式提出山水城市的概念是在1990年7月31日给吴良镛院士的一封信中，他说：“我近年来一直在想一个问题：能不能把中国的山水诗词、中国古典园林建筑和中国的山水画融合在一起，创立‘山水城市’的概念？人离开自然又要返回自然。”[20]钱老的这封信是在读了《北京日报》和《人民日报》关于菊儿胡同危旧房改建为北京的“楼式四合院”的报导后写的。钱老读了这些报导后“心中很激动”，于是就提出了“山水城市”的概念。

那么，钱老为什么要用“山水”两字来表达他对21世纪社会主义中国的城市模式的概括呢？

“山”和“水”联起来用，在中国人的传统观念中是代表“大地”、“祖国”的意思。例如，“江山如画”、“还我河山”等等。至于“山水画”、“山水诗词”、“山水园林”中的“山水”是指“自然”、“景观”(Landscdpe)。在这里“山”已经不只是“Mountoin”，“水”也不只是“water”。所以，“山水城市”是代表“人与自然”，代表“生态与人文”，代表“科学与艺术”，代表“历史与来来”，代表“物质与精神”，代表钱老“为人民”的思想。钱老“山水城市”的思想博大精深，有很大的包容性，值得我们长期、深入地研究探索。随着研究的不断

深化,它的丰富内涵将会不断地揭示出来。因此,征得钱老的同意,我们在英译“山水城市”时,是用了 SHAN-SHUI CITY 音译的方法。总之,钱老的“山水城市”是一种“理念”、“思想”,是“理想”、是“战略”,它不仅是“操作层次”,更重要的是它的“战略层次”。

事过近两年,钱老又先后给园林专家吴翼、《美术》杂志编辑王仲和中国建筑学会顾孟潮写信,再次提出“山水城市”。

他在信中说:“现在我看到,北京市兴起的一座座长方形高楼,外表如积木块,进去到房间则外望一片灰黄,见不到绿色,连一点点蓝天也淡淡无光。难道这是中国21世纪的城市吗?”

他又说:“对于中国城市,我曾向吴(良镛)教授建议:要发扬中国园林建筑,特别是皇帝的大规模园林,如颐和园、承德避暑山庄等,把整个城市建成为一座大型园林。我称之为‘山水城市’。”[21]

在钱学森的创议下,1993年2月,在北京召开了有多学科专家、学者参加的“山水城市座谈会”。钱老在会上发表了“社会主义中国应该建山水城市”的书面发言。

在这篇书面发言中,他说:“这是把古代帝王所享受的建筑、园林,让现代中国的居民百姓也享受到。这也是苏扬一家一户园林构筑的扩大,是皇家园林的提高。中国唐代李思训的金碧山水就要实现了!这样的山水城市将在社会主义中国建起来!”[22]

他又说:“山水城市的设想是中外文化的有机结合。是城市园林与城市森林的结合。山水城市不该是21世纪的社会主义中国城市构筑的模型吗?”[22]

钱学森的书面发言为山水城市概念的形成奠定了坚实的基础,它对山水城市理论与实践的发展具有深远的影响。

此后,山水城市的理论与实践向纵深推进,一方面在钱老的创导下,召开了一系列座谈会(如“立交桥——现代城市一景”座谈

会、桥车与城市发展学术讨论会和《城市学与山水城市》再版发行座谈会等），深入探讨21世纪社会主义中国的城市发展模式，另一方面，一些城市结合当地情况开展山水城市的研究和实践。其中，重庆、广州、自贡、武汉等城市都开展了专题研究，召开了学术论坛或研讨会，把山水城市的思想注入城市建设规划，列入政府的议事日程，逐步加以实施。

值得注意的是，我国关于山水城市的探索，引起了国际学术界的关注和重视。1993年，在国际城市生态建设学术研讨会上介绍山水城市，引起与会国外学者的强烈兴趣和高度评价。1995年的世界公园大会宣言中也强调了“山水城市是亚洲式的一种花园城市”。

对于山水城市能受到各方重视和引起大家支持的原因，钱老分析说：“这次提出建筑科学大部门却引起大家的支持，山水城市也如此。什么原因？这是我们该好好反思的。

我想可能有两个方面的原因：

(一)居室及工作环境是人们都有日常体会的。您信中说的群众对您广播讲话的反应不就是这样吗？……

(二)从学科大部门来看，(这是学者们重视的)……建筑科学则是自然科学、社会科学和美术艺术的三结合，更复杂高超。”(1996年9月15日给我的信)[23]钱老的这一段话值得我们深思。

对此，钱老的态度是：“山水城市的设想能被更多的人所接受和理解是件好事。但我们还要对山水城市做深人的探讨，逐步加深理论”。(1995年10月25日给我的信)[24]。

另一方面，他又说：“但我也不会忘乎所以地乐观！对山水城市的说法也一定会有强烈的反对意见。”(1995年1月25日给我的信)[25]

8.4　提出与建立建筑科学的轨迹

钱学森提出建立建筑科学大部门的思想，其形成过程大致经历了四个阶段：(1)思想理论准备阶段(1958—1990年)，(2)探索未来城市模式阶段(1990—1993年)，(3)理论发展与实施推动阶段(1993—1996年)，(4)理论升华阶段(1996—2000年)。

钱学森教授对建筑与城市的研究始于50年代，最早可以追溯到他在1958年3月在《人民日报》上发表的文章。钱学森的学术思想还源于他对祖国的热爱。只要细细咀嚼这篇他回国后不久发表的文章的标题和内容，从诗一样的语言中，就可以感受到他对祖国的炙热情怀。这一期间，他撰文探讨园林学和城市学，从而为后来"山水城市"的构想做了充分的思想理论准备。

自1990年7月以后，钱老先后给吴良镛等四人写了关于山水城市的信函。他说，关于菊儿胡同危旧房改建实践的报导，引发了他近年来关于山水城市的想法和对21世纪中国城市向何处去的大方向的思索，进而建议召开"山水城市讨论会"，从而引发了一场对社会主义中国未来城市模式的大讨论。在讨论会上，钱老发表的《社会主义中国应建山水城市》一文，全面地阐述了他对山水城市的观点。

在1993年2月召开的"山水城市讨论会"上，钱学森的书面发言为山水城市概念奠定了坚实的思想和理论基础。此后，钱老又对山水城市的理论发展和实施推动提出了一系列构想。在这期间，不少相关著作的出版，一些城市开展了有关山水城市建设研究和召开了专题研讨会，使山水城市的理论和实践在深度和广度上大大前进了一步。

各地山水城市的实践经验，大大丰富发展了山水城市的理论。正是在这样的背景下，钱老于1996年6月4日接见我们时，提出了建立建筑科学大部门的思想，突出了建筑是科学与艺术的结合这一特点。此后，他又以系统科学的观点阐述了有关宏观建筑与微观建筑的概念。这是钱老总览建筑科学历史文化进行研究与思考的结果。钱老关于建立建筑科学大部门思路的提出，是他对现代建筑科学理论的升华，在建筑科学发展历史上具有里程碑的意义。

参考文献

1 钱学森：《关于马克思主义哲学和文艺学美学方法论的几个问题》，见钱学森著《科学的艺术与艺术的科学》，人民文学出版社，1994，第111~128页。

2 钱学森：《我看文艺学》，见钱学森《科学的艺术与艺术的科学》，人民文学出版社，1994，第129~134页。

3 钱学森：《对技术美学和美学的一点认识》，见钱学森《科学的艺术与艺术的科学》，人民文学出版社，1994，第192~196页。

4 钱学森：《美学、社会主义文艺学和社会主义文化建设》，见钱学森《科学的艺术与艺术和科学》，人民文学出版社，1994，第142~158页。

5 钱学森：《社会主义精神文明建设与文艺工作》，见钱学森《科学和艺术与艺术的科学》，人民文学出版社，1994，第159~170页。

6 钱学森：《发展地理科学的建议》，见钱学森等《论地理科学》，浙江教育出版社，1994，第36~46页。

7 钱学森：《关于地学的发展问题》，见钱学森等《论地理科学》，浙江教育出版社，1994，第69~78页。

8 钱学森：《与〈文艺研究〉编辑部座谈科学、思维与文艺问题》，见钱学森《科学的艺术与艺术和科学》，人民文学出版社，1994，第99~100页。

9 钱学森：《哲学·建筑·民主》，见钱学森《论宏观建筑与微观建筑》，杭州出版社，2001，第293~298页。

10 钱学森：《关于思维科学》，见钱学森《科学的艺术与艺术的科学》，人民文

学出版社,1994,第23~28页

11 钱学森1998年5月5日给顾孟潮、鲍世行的信,见钱学森《论宏观建筑与微观建筑》,杭州出版社,2001,第368~369页。

12 钱学森1996年9月26日给顾孟潮的信,见钱学森《论宏观建筑与微观建筑》,杭州出版社,2001,第356页。

13 钱学森1996年9月15日给鲍世行的信,见钱学森《论宏观建筑与微观建筑》,杭州出版社,2001,第229~231页。

14 鲍世行、顾孟潮、涂元季:《钱学森建筑科学思想的由来与发展》,见钱学森《论宏观建筑与微观建筑》,杭州出版社,2001,第12~21页。

15 钱学森:《关于建立城市学的设想》,见钱学森《论宏观建筑与微观建筑》,杭州出版社,2001,第39~44页。

16 刘歧、张跃庆、梅保华:《城市学》,燕山出版社,1990。

17 唐恢 :《城市学》,哈尔滨工业大学出版社,2001。

18 钱学森:《不到园林,怎知春色如许——谈园林学》,见钱学森《论宏观建筑与微观建筑》,杭州出版社,2001,第9~11页。

19 钱学森:《园林艺术是我国创立的独特的艺术部门》,见钱学森《论宏观建筑与微观建筑》,杭州出版社,2001,第3~8页。

20 钱学森1990年7月31日给吴良镛的信,见钱学森《论宏观建筑与微观建筑》,杭州出版社,2001,第164~165页。

21 钱学森1992年10月2日给顾孟潮的信,见钱学森《论宏观建筑与微观建筑》,杭州出版社,2001,第170~171页。

22 钱学森:《社会主义中国应该建山水城市》,见钱学森《论客观建筑与微观建筑》,杭州出版社,2001,第359~263页。

23 钱学森1996年9月15日给鲍世行的信,见钱学森《论宏观建筑与微观建筑》,杭州出版社,2001,第229~231页。

24 钱学森1995年10月25日给鲍世行的信,见钱学森《论宏观建筑与微观建筑》,杭州出版社,2001,第200~202页。

25 钱学森1995年1月25日给鲍世行的信,见钱学森《论宏观建筑与微观建筑》,杭州出版社,2001,第193页。

第 9 章 钱学森论管理科学

钱学森教授是我国有杰出贡献的科学家，也是世界著名的系统工程专家。数十年来，钱老不仅在我国的国防及经济建设方面做出了卓越的贡献，而且在系统理论、系统工程以及自然科学及社会科学的许多方面提出了一系列重要的观点，对结合中国国情发展我国的科学技术及管理起到了巨大的推动作用。

我是在 1988 年担任全国政协科技委员会委员后才认识钱老的，当时钱老是科技委员会的主任，钱三强等为副主任。记得我第一次参加会议时，面对一群闻名已久的科学家，在发言时实在感到有些紧张。钱老不但认真听取了我的发言，在以后几次会议中，还特意要我坐到他身边，以便能听清我说话，有时还与我低声交谈。这使我感到他是一位平易近人的老前辈，开始与他交往并通信。此后十几年中从钱老获益良多，现仅就我个人的所见所闻所思所虑，对钱老在管理科学方面的思想和贡献谈几点粗浅的体会。

9.1 钱学森从本质上说是一位思想家

我认为，钱老之所以能够在许多方面做出重大贡献，是因为他具有思想家的高贵品质。这种品质主要表现在以下几个方面：

1. 善于学习，兼容并蓄，勤于思考，抓住本质。

钱老非常关注各个方面的新情况和新知识，并善于将这些情

况和知识系统化，经过他的认真思考，抓住事物的本质。他的讲话及文章中常常具有独到的见解，有时一语破的，令人茅塞顿开。

2. 在知识结构上，钱老有专业的深度，学科的广度，哲学的高度，以及敏锐的远见这样的四维结构。他不仅像一般的专家那样“务于精纯”，而且还能“观其大略”，可以说是藏精纯于大略之中。

3. 看问题时既见树木，又见森林，善于将微观与宏观结合起来，既能深入分析，又能综合集成。

4. 学而不厌，诲人不倦，热心奖掖后进。

钱学森从一个热爱祖国的科学家成长为一个放眼世界的思想家，经历了漫长的求索过程。据我个人粗浅的研究，这一过程大体上可以分为三个阶段。第一阶段大体是在20世纪60年代以前，那时他基本上是一个热爱祖国的科学技术专家，在力学和工程控制论等专业领域已取得了世界一流的成就，并冲破重重困难回到祖国，以实现其科技报国的愿望。

第二阶段大体上从20世纪60年代初期到20世纪80年代初期。他在回国后一方面受到党和国家的重用，走上了领导科技研究及研制的岗位；另一方面，他开始接触并深入学习马克思主义哲学，并结合他自身的实践经验来体会及思考。这就促使他逐渐由一位科技专家向组织管理专家转变，并从80年代初期开始关注科学研究工作的组织管理问题，他在1978年提出系统工程是组织管理的技术。这时的钱老已经敏锐地认识到管理科学对于我国的发展和振兴的极端重要性，并努力将系统工程的应用推向各个方面。

第三阶段大体上从20世纪80年代开始至今。在改革开放的大潮中，一方面有许多新事物不断涌现，社会、经济、科技发展中的复杂性与日俱增，需要他认真研究和思考；另一方面，也由于同国外的接触增多，获得了大量的信息，使他能更准确、及时、全面地把

握世界发展变化的情况及科技文化成果，将中国的发展放到世界这一大环境下来观察。这就使钱老更进一步从国家的全局和长远的发展来考虑问题，致力于寻找更好地管理国家的方法。他不仅提出了“要从整体上考虑并解决问题”、“开放的复杂巨系统及其方法论”、“从定性到定量综合集成法”、“总体设计部”等理论及方法，而且在政治、经济、科技、文化、教育等许多方面都有大量精辟的论述，从而成为我国当代一位著名的思想家。

我认为，只有从思想家这个角度来观察钱老并研读他的论著，才能够真正理解钱老在管理科学等方面的思想的系统性和超前性。

9.2 发展管理科学关键在提高认识

我在1997年向钱老请教如何发展我国的管理科学时，他一针见血地指出，发展管理科学首先要提高思想认识[1]。这一论断至今还有重要的现实意义。

管理是指管理者在不断变化的客观环境下，设法运用人力、物资、设备、信息等各类资源，来达到预定目标的各种活动和全部过程。管理是生产力中的软件，只有通过管理才能将劳动者、劳动工具和劳动对象这三个要素合理地组织起来，推动生产力的发展。也只有通过管理才能将科学技术真正转化为生产力，实现科技与经济的结合[2]。

管理既有科学的规律可循，又有艺术的运用之妙。管理科学是研究管理过程中的带有普遍性的客观规律的科学，例如严密计划、定量计算、全面评价、优化决策等。但在具体管理活动中，除了需要运用管理科学知识之外，更重要的是要求管理者发挥随机应

变、周密算计、经验判断、当机立断等能力，来具体地解决带有个性的具体问题。因此，我们既要认识到管理科学的重要性，又要认识到管理科学的局限性。

管理科学家的职责是探寻管理的科学规律，以帮助管理者更好地达到其目标。但其本身并不一定是优秀的管理者，正如伟大的文学家多半不是文学系的毕业生，而奥林匹克冠军绝大多数也不是体育科学家一样。因此，社会各界对管理科学家的期望应当恰如其分，也不应随便给一些成功的企业家戴上管理科学家的桂冠。

管理科学的局限性还在于它难以精确地分析和判断人的行为，特别是一些非理性行为，以及非制度因素的影响；也难以精确地预测环境的变化。因此，管理科学虽然能提供科学的方法和手段，但由于受环境和人的制约，并不能保证管理一定成功。何况管理科学家只是支持管理者的决策，并不能代替管理者作决策。这一方面是因为管理科学家往往受到知识、经验、时间、环境等等方面的限制，很难保证其研究结论完全正确；另一方面，由于管理者在视野、价值观、风险性判断等方面与管理科学家有所不同，不可能也不应该要求管理者完全按照管理科学家的意见进行决策。由此可见，在决策过程中最终还要依靠管理者的智慧、胆识、决心和魄力。

我国是古代文明的发源地之一，在哲学、文学与科学技术等方面都有过辉煌的时期，对世界文明的发展也有一定的影响。但由于长期与外部世界联系不多，特别是清朝在建立全国政权之后，厉行闭关锁国政策，丧失了吸收西方文艺复兴时期以后迅速发展起来的科学技术与文化(包括管理理论与方法)的机遇。鸦片战争之后，虽然有了向西方学习的机会，但由于长期的外侮内患，并没有对西方进行过全面、系统、深入的研究。特别是在管理科学方面，

由于种种原因，长期受到忽视和轻视，直到20世纪80年代初才开始将学习西方管理科学和培养管理人员的任务提上日程。

面临21世纪的挑战，发展管理科学更是当务之急。但是，对于发展我国的管理科学方面首要的关键何在，有人认为应当认真学习西方的管理理论和方法，有人认为应当深入研究中国古代的管理思想，还有人认为应当总结中国企业的管理经验并进行案例研究，确实是众说纷纭，莫衷一是。钱老在与我谈话时充分强调了管理科学的重要性，他说："管理科学是密切联系实际的一门科学，它有很大的作用。它一旦起作用，就了不起，就会出现很大的变化"[1]。但同时又一针见血地指出："现在管理落后的问题还不是一个科学技术问题，而是一个思想认识问题"[1]。并且进一步明确指出，加强管理首先在于提高领导者的思想认识。他说："例如，邯郸钢铁厂的领导解决了这个思想问题，你看他们找出了一个计算方法：市场销售价等于成本加上应得的利润，这就是生产最起码要达到的目标。然后发动全厂讨论，统一认识，最后将任务落实到每个车间，以至每个人。这是领导思想上的彻底改变。"[1] 为此钱老认为重要的问题是教育干部。他说："我看还有一个很重要的工作就是要大力宣传，教育我们的干部。我们的许多干部不是不好，而是不懂管理科学，习惯了的那老一套确实不行。所以要多向他们宣传管理科学。"[1]

钱老还指出了在市场经济条件下运用典型经验的重要性。他说："过去我们搞两弹时，也用到了系统工程，但那时用的完全是计划经济体制下的系统工程，比较好办。上面给我一个任务，要求在一定的期限内完成，我就把任务层层分解，保证各个方面的工作要衔接。然后到具体实施时，加强检查，哪个地方落后了，就赶快报告解决。这完全是用计划经济的方式来解决问题，那就是由领导

来决策,限定什么时间完成,就什么时间完成。用的虽是系统工程方法,但完全是计划经济下的那一套。现在市场经济条件下,该怎么搞?这个问题要用新的典型,像邯郸钢铁厂、宝山钢铁厂等,好好总结一下,再推而广之。这就是说我们搞科学研究,就是要使我们科学研究的方法能被各级领导认识到。”[1]

今天重温钱老在4年前的这番谈话,确实感到他的语重心长。我在对西部大开发进行调查研究的过程中,深感首要的关键是提高西部地区广大干部的政治责任心、历史使命感、政策水平和决策能力,单靠增加投资和发展科技是难以达到振兴西部的目标的。

9.3 强调系统工程在组织管理方面的作用

国外早期的系统工程论著多半着重于技术系统的分析与设计,而钱老则强调系统工程是组织管理的技术。他早在1978年就已指出:“系统工程是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法,是一种对所有系统都具有普遍意义的科学方法”[3]。1986年7月,在全国软科学研究工作座谈会上,钱老又进一步指出:“国家是个大的系统,要使这个系统达到最优的状态,有几个方面的工作要做。我认为社会主义国家有八个方面的功能:……这就是建设我们中国社会主义的学问。这学问实际上是应用科学,它具体到怎么去管理这个国家,用什么方法预测、管理、组织这些问题,是系统工程,或是软科学”[4]。他的这些论断推动了我国的系统工程研究与实践进一步向管理科学及软科学方面延伸,更加注意研究包含人为事物的系统,如企业系统、经济系统及社会系统等。此后,钱老又提出了开放的复杂巨系统的概念,以及从定性到定量综合集成方法,为研究这类系统提供了理论及工具。

为了使系统工程的理论及方法更加深入人心，真正成为改造客观世界的有力工具，钱老一直注意拓展系统工程的应用领域。据我所知，中国系统工程学会的许多专业委员会都是在钱老的倡导下建立起来的。1988年12月23日，钱老在给我的信中提出："我想中国系统工程学会似尚缺少一个专门搞生产流程的委员会，而生产流程的系统工程对化学工业特别重要。您如同意，您可作为发起人向学会的秘书长或副秘书长建议成立这个委员会"。在钱老的推动下，由12个部委联合起来，于1991年建立了中国系统工程学会过程系统工程专业委员会。这个委员会的建立对于在化工、冶金、轻工、建材等过程工业中研究开发及推广应用过程模拟及优化、过程综合与过程管理等过程系统工程技术，提高过程工业的生产技术水平及集约化程度等方面，都起到了一定的作用。

9.4 提倡从整体上考虑并解决问题

作为一个系统工程专家，钱老一贯提倡要从整体上考虑并解决问题，反对部门分割及地方分割。他在1990年指出："现在我们的社会形态距理想实在太远了。我不是说一项一项的具体事情，一项一项的成绩是很大的。但是从整体上说，浪费太厉害了，效率太低了。这实在令人担忧。我们一定要治理整顿，深化改革，而这里最重要的是要从整体上考虑，而不是就个别的问题而言"[5]。1991年3月22日，钱老在全国政协科技委员会第二次全体扩大会议上的讲话中指出："我觉得，对于当前我国的科技、经济、政治、国防，要统一起来考虑，要有长远的、宏观的、战略的眼光。现在是一些长远的、宏观的、战略的看法，得不到应有的重视"。1993年2月，我陪同顾秀莲同志去拜访钱老时，他又指出："现在部门分割、

地方分割的问题严重，不易解决。我和成思危同志谈过，要搞大化工……要打破部门界限，把能源、冶金、生物等方面都结合起来" 1997年7月2日我去拜访钱老时，他明确地提出："中国的情况是部门分割严重，所以最重要的工作是向中央提供一个分析结果，报告由于部门分割所带来的损失，这也许是我们社会主义建设向前推进中的最大问题。如果国家自然科学基金委员会能够提出这样的一个报告，我想会有很大的作用，肯定能够得到中央的重视。因为他们也了解这些情况，但我们到底损失有多大，需要科学地估计一下才行。"[1] 我认为，钱老的这一建议十分重要，也曾力图着手落实，但由于困难重重，举步维艰，至今尚未能实现。

9.5　推动自然科学与社会科学的结合

钱老十分推崇马克思提出的自然科学与关于人类的科学将会成为一门科学的预言，并称这一过程为自然科学与社会科学的一体化。他在1991年4月13日给我的信中说："您论科学技术为第一生产力的文章很好，宜早日发表以帮助大家提高认识。我只想到一点：科学技术不只是自然科学工程技术，还有社会科学、软科学"。在1997年7月2日的谈话中，钱老又提出："有些涉及到用社会科学来解决管理科学与自然科学之间的问题，就要找一找社会科学家……就是要找那些现在具体在做工作，又能接受管理科学这个概念的，在科学技术工程界和社会科学界之间建立联盟。"[1] 在钱老的影响下，我国系统工程界的一些学者开始注意学习社会科学知识，并与社会科学家联合研究一些软科学及管理科学问题，且已取得了一些成果，例如《国家12个重要领域技术政策的研究》、《人口系统定量研究及其应用》等。

从科学的发展历史中可以看出，在科学处于萌芽阶段的古代文明中，科学是一个统一的体系。作为西方古代科学代表人物的亚里士多德，就是将哲学、自然科学与社会科学综合在一起，建立了一个包括哲学、天文学、物理学、动物学、植物学、逻辑学、政治学、美学等等方面的体系。以后哲学逐渐独立出来，并被迫披上了神学的外衣，而科学的发展也由于受到社会政治动乱的干扰和宗教意识形态的压制，长期处于基本上停滞的状态，仅在中国及阿拉伯国家取得了一些进步。直至15世纪下半叶，在西方文艺复兴运动的推动下，随着社会的进步及生产的发展，科学才逐渐分化为自然科学与社会科学两大部类，而每一部类又逐渐分化为各门学科，这一过程直到18世纪才基本完成，并分别形成了自然科学与社会科学两大科学体系。这一科学分化的过程至今仍在继续，并已经形成了自然科学、技术科学、社会科学与人文科学四大部类。

在科学不断分化的同时，科学的融合过程也在悄然兴起。一是同一科学部类内部的有关学科之间的相互交叉与渗透，产生了例如物理化学、生物统计、射电天文、经济地理等学科；二是不同部类的有关学科之间的相互交叉与渗透，产生了例如数理经济、社会生物、计量历史等学科；三是由于科学与技术的紧密结合，使得许多学科实现了工程化，产生了例如化学工程、生物工程、知识工程、金融工程等学科；四是近数十年来出现了系统论、控制论、信息论、协同论、突变论、耗散结构论、超循环论、混沌理论等一批“横断”学科，它们所发现的一般规律正在越来越多的学科中得到应用；五是由于科学研究活动的群体化及社会化程度不断提高，以及数学模型及计算机的普遍应用，自然科学家要学习经济与管理知识，而社会科学家则要学习数学与计算机知识，双方的相互了解日益增多。目前这一融合过程还在继续并不断增强，最后将会在此基础上实

现新的综合，进而实现科学的融合[6]。

实现科学融合的哲学基础是客观世界的系统性，即客观世界是一个由相互联系的各部分所组成的、不断发展变化的系统。由于每一门学科的研究对象仅是这一系统中的一小部分，因此在研究过程中决不能忽视其研究对象与系统其他部分的联系。而只有将各门学科及各学科部类的研究成果综合集成起来，才能取得对客观世界的全面的认识。著名物理学家普朗克早就指出："科学是内在的整体，它被分解为单独的部门不是取决于事物的本质，而是取决于人类认识能力的局限性。实际上存在着由物理到化学、通过生物学和人类学到社会科学的连续的链条，这是一个任何一处都不能被打断的链条，难道这仅仅是臆想吗？"[7] 近年来，一些有识之士不断大力鼓吹和推进跨学科研究。1984年，在诺贝尔奖获得者 Murray Gell-Mann、Philip Anderson、Kenneth Arrow 等人的支持下，聚集了一批从事物理、经济、理论生物、计算机等学科的研究人员，组织了圣菲研究所（Santa Fe Institute，简称 SFI），专门从事复杂科学的研究，试图由此找到一条通过学科间的融合来解决复杂性问题的道路。

但是，应当看到，实现科学融合是一个长期的、艰巨的、有时甚至是痛苦的过程。由于各门学科的研究对象、发展历程、研究方法等方面的不同，再加上长期以来的学科分割、"隔行如隔山"、"文人相轻"等主观因素，以及缺乏人才、技术及经费等客观因素，使得学科之间的综合集成难以实现，距离科学融合的目标就更加遥远了。

近年来有些未来学家指出，由于科学发展的代价增大及科学研究中的保守倾向，科学发展的速度可能变慢，甚至出现一种知识危机，而为了获得最大限度的科学进展，至关重要的是研究科学中的方法，而不是科学中的学术。因此，我们在推进科学融合的过程

中应当不断实现科学方法的创新

根据辩证唯物主义的观点，人类对客观世界的认识来自以人类的生产活动为主的社会实践，并且会随着社会实践的发展而不断深化，即由浅入深、由表及里、由个体到整体、由部分到系统。自20世纪初以来，由于社会实践的广度及深度的迅速扩展，以及科学技术的高度发展，人们对客观世界的系统性及系统的复杂性的认识也更加全面而深入。笔者认为，这种认识可以概括为以下几个方面的结合(辩证的统一)：即微观与宏观的结合，层次结构与功能结构的结合，静态与动态的结合，系统与环境的结合，明确性与模糊性的结合，确定性与随机性的结合，自组织与他组织的结合。

美国的一些科学家于上世纪80年代初明确提出了系统的复杂性问题。例如，前述SFI的科学家们认为，复杂系统是由大量相互作用的单元构成的系统，复杂性的研究内容则是研究复杂系统如何在一定的规则下产生有组织的行为，进而提出了复杂适应性系统的概念。在这一思想指导下，他们集中了一批优秀的科学家进行了跨学科的研究，并已在经济系统的发展、免疫系统的形成、人工生命、人工神经网络计算等方面取得了一些初步的成果。

钱学森也于1989年提出了开放的复杂巨系统的观念[8]，并认为复杂性问题实际上是开放复杂巨系统的动力学特性问题[9]。在以后的几年中，他对与此有关的问题做了许多精辟的论述。遗憾的是，由于各种客观上的原因，钱老的许多预见未能付诸实践，因而也难以用实践经验来推进开放的复杂巨系统理论的发展。经过艰苦的努力，国家自然科学基金委员会于1998年同意将《支持宏观经济决策的人机结合综合集成体系研究》列为管理科学部的重大项目，总投入500万元，目前正在实施过程中。

9.6　坚持按照国情发展管理科学

钱老曾尖锐地指出："我们现在有一部分人，看外国的东西头晕眼花，说得不好听，就是有点迷洋崇外。应当老老实实地承认，科学技术方面，总的来说，西方某些国家比我们强，我们不要来个阿Q主义，那是很难进步的。但也不能一见外国的东西就躬身下拜，要有分析，实事求是。……我当然不是说外国的东西不要看，要看；不但要看，而且要下功夫钻研。但是，我们要去粗取精，他们也确实有精的东西。……外国的东西要虚心学习，要吸取他们好的东西，但是，千万不要盲目地跟着走"[4]。他还在不同场合中用一些例子来具体说明这一观点。钱老多次用我国研制"两弹一星"的实例来说明，在社会主义制度下采用民主集中制时有可能做到投入少、速度快、效率高。在谈到从定性到定量的综合集成方法时，他也强调只有在社会主义制度下，由于专家们的根本利益一致，才有可能逐步实现集成。钱老的这些思想鼓励了一些系统工程工作者在努力吸收国外成就的基础上，针对我国国情独立思考，大胆创新，并已取得了一些颇有价值的成果。

我们中华民族有着光辉灿烂的历史与文化，其中也包括许多宝贵的管理思想和管理经验。它们经过五千年的积累与提炼，至今仍在国家和企业的管理实践中发挥着重要的作用。对待我国古代的管理思想，我们应当采取"古为今用"的方针。一是要对其进行认真的研究与分析，有些问题还应进行认真的考证；二是要实事求是地加以评价，不要拔得过高，更不应牵强附会，须知古人因受其历史条件限制，不可能为今天的管理问题提供现成的答案；三是要联系实际进行思考，将古代管理思想中的原则与当前的具体情

况结合起来;四是要将批判继承与创新发展结合起来,取其精华,去其糟粕,防止食古不化,而应在前人的基础上不断创新。

当19世纪末期西方现代管理开始兴起时,泰罗(Fredrick W. Taylor)等人强调的是科学管理,其中心是以科学方法提高劳动生产率,以实现雇主的低成本要求与工人的高工资要求之间的平衡。而梅奥(Elton Mayo)等人则着重于研究人的本性和需要,行为的动机,尤其是生产中的人际关系。第二次世界大战后,西方各种管理学派纷纷涌现,出现了百家争鸣的局面。我们对待五彩缤纷的现代管理理论及方法,应当坚持"洋为中用"的方针,即要在认真学习研究的基础上,吸收其精髓,有选择地结合我国的实际情况加以运用。

因此,如何将华夏文化与现代管理融合起来,在"古为今用,洋为中用,取长补短,殊途同归"[10]的基础上,建立有中国特色的管理科学体系,确立其学科结构及重点发展领域,是我们这一代管理科学家们义不容辞的责任[11]。

从以上一些极不完全的叙述中,可以看到钱老的思想及观点对建立有中国特色的管理科学具有重大的指导意义。但是,要真正实现建立有中国特色的管理科学体系这一目标,还需要我们大家坚持不懈的努力,我也愿意为此而贡献自己一份绵薄的力量。

参 考 文 献

1 成思危:《发展管理科学首先要提高思想认识——钱学森教授访谈录》,《管理科学学报》,1998(1),第3—7页。

2 成思危:《管理科学的现状与展望》,《管理科学学报》,1998(1),第8—14

页。

3　钱学森等:《论系统工程》,湖南科学技术出版社,1982。

4　钱学森:《软科学是新兴的科学技术》,《红旗》杂志,1986(17),第20—23页。

5　钱学森:《要从整体上考虑并解决问题》,《人民日报》,1990年12月31日,3版。

6　成思危:《试论科学的融合》,《自然辩证法研究》,1998(1),第1—6页。

7　引自黎鸣:《试论唯物辩证法的拟化形式》,《中国社会科学》,1981(3),第3—21页。

8　钱学森:《基础科学研究应该接受教育马克思主义哲学的指导》,《哲学研究》,1989(10),第3—8页。

9　王寿云、于景元、戴汝为、汪成为、钱学敏、涂元季:《开放的复杂巨系统》,《浙江科学技术出版社》,1990,第286页。

10　成思危:《古为今用,洋为中用,取长补短,异途同归——论华夏文化与现代管理的融合》,《管理科学学报》,1998,1(2),第1—5页。

11　成思危:《中国管理科学的学科结构与发展重点选择》,《管理科学学报》,2000,3(1),第1—6页。

第 10 章 钱学森论沙产业

"沙产业"(DESERTICULTURE)这个名词，在以往出版的词典中是找不到的，沙产业是个新的科学术语。沙产业概念是 1984 年由我国杰出贡献科学家钱学森先生首次在一个学术报告会上提出来的。在以后的十多年里，钱老通过多次的讲话、通信，用书面文字和口头解说，对于沙产业理论从许多侧面做了阐述，形成了钱学森关于沙漠戈壁合理利用的科学构想。钱老论述的沙产业理论，是一个表达简洁而又有严格规范的沙漠开发利用战略构架。它包含了开发利用的目标和达到目标的系列措施，是一种新思维。在纪念钱老九十华诞的日子里，学习和理解钱老的沙产业理论，将会更加振奋精神，在开发大西北、对抗土地荒漠化的伟大事业中，坚定必胜的信心和信念。

10.1 沙产业就是在"不毛之地"搞农业生产

在地球南北回归线附近的陆地表面，除个别受高山影响的地块外，分布着面积辽阔、干旱少雨的荒漠和半荒漠，占地球陆地近 1/3。这些沙质荒漠、砾质戈壁和土质"光板地"，植被稀疏，第一性生产力低下，被人们称为"不毛之地"。仅非洲的撒哈拉、亚洲的阿拉伯半岛、澳洲的维多利亚，就占据了世界陆地的 1/10。中国北方沙漠、戈壁共计 130 万平方公里。在这大片国土上，人烟稀少，除

岛屿般散布的绿洲和天然草场外，均为沙丘和砾石所覆盖。被称为是“不毛之地”的干旱、半干旱区，大气干燥，多风少雨，自然地理条件非常严峻。因此，居住在这里的群众自古以来经济活动和谋生手段都有别于其他地方。在中国，在全世界，这些地方多属于贫穷、不发达地区，是产生“生态难民”的根源地。20世纪中，除了两次世界大战给人类造成了巨大的浩劫外，最悲惨的、人口死亡最多的“旱灾”（非洲的“萨赫勒灾变”、中国“民国十八年大旱”），都发生在这里。

20世纪以来，人口在大基数上的快速增长，加大了社会需求，破坏了干旱、半干旱地区农牧开发中传统技术的合理性，产生了诸如滥垦、过牧、大面积樵采等导致土地沙漠化的直接人为因素。以致近30年来，世界上干旱、半干旱地区不同民族的农牧民都异口同声地在实践中总结出一条教训：“耕地多了，但产量少了”；“水多了，但草少了；羊多了，但肉少了”。干旱、半干旱地区人类不合理的开发活动，导致了对第一性生产力即植物光合作用物质基础的丧失。无节制的滥用，不仅是对资源的掠夺，而且是对生产力潜能的破坏。土地沙漠化（有的称荒漠化，涵义略有区别）被称为当代环境问题之首。原因是土地沙漠化涉及面广，又不易治理。干旱、半干旱地区的经济开发活动，单纯依靠传统的方式和技术，已被实践证明是和持续发展背道而驰的。目前，正面临着谋求新思维的抉择。当人们需要一种沙漠开发利用的正确指导方略的时候，钱老在1984年提出了“沙产业”理论。[1]

钱学森在多次论述中认为，沙产业是知识密集型的农业型产业；实现沙产业必须是利用全部现代科学技术，包括物理学、化学、生物学等基础科学，通过植物的光合作用，固定转化太阳能；利用系统工程综合开发产品和产后加工，建立适合市场机制的有效管

理体系。只有这样，才能在我国150万平方公里的沙漠、戈壁和沙漠化土地上，创建能“为国家提供上千亿元产值的沙产业”，“为人类开拓新的食品来源”。[2] 他认为，沙产业就是变不毛之地为沃土。他期望沙产业以及其他知识密集型农业型产业的建成将是一次新的产业革命。

10.2 沙产业的发展谋略定位于提高对太阳能的利用

地球表层的自然界是人类赖以生存的物质基础。对供给人类食品和其他生活、生产资料的周围环境的认识和利用深度，决定着人类活动行为的理智程度和水平。包括人类自身在内，地球表层这个巨系统的运动规则和联系规律，都是客观的和可认识的。

首先，也是最本质的，就是地球表层的万象更迭和生命活动的不息运转，最大的动力来源是太阳能。认清了地球表层这个极为复杂的巨系统的动力渊源，抓住这个相互联系的最本质要点，在认识上理解了系统内能源联系的特征，它的等级、传递的层次和转化的顺序，就把握了理解钱老提出的沙产业谋略的主要之点，找到了解决难题、追本求源的方向。

随着地球上人口大量增加，食品不足成为当代困扰人类的难题。究其原因，不是阳光不够，不是能的源头不充沛，而是地球表层固定、转化太阳光的功能弱，或者破坏了这个转化系统，或者由于种种原因降低了这个转化系统的转化功能。解决人类难题的努力在于运用科学知识，特别是最新的知识，来固定、转化太阳能。

钱学森院士倡导的沙产业，没有把人们在沙漠地区最为普遍应用的传统方式作为目标，而是将目光转向沙漠地区分布在地球表面赤道南北一定范围内的阳光地带这一现实，把提高这里的太

阳能同化效率作为开发方向。太阳,是一个巨大的辐射源,取之不尽,用之不竭。沙漠戈壁地区云层稀少,全年日照时数在2800—3300小时之间,充沛的阳光是天赋资源。例如,我国国土太阳能年辐射总量在80—200千卡/厘米^{2}之间;而内蒙古、宁夏、甘肃的西北部及新疆的东南部年总辐射量均在140千卡/厘米^{2}以上。沙产业发展谋略定势于提高植物的太阳能转化效率,立足于充分利用沙漠地区天赋阳光资源,提高单位面积碳水化合物的产出量,从而满足于人们对氨基酸、维生素、生物能源及工业原料的需求。沙产业这一谋略定势,从根本上有别于几十年来沙漠开发利用总体目标的认定。

由于太阳能存在着单位面积上强度不高、能量辐射不恒定等特点,利用绿色植物的光合作用固定太阳能就是最理想的手段。因为,迄今为止,人类还没有能够创造出这样一种物质或物质体系,能够使光化学过程有足够高效的能量储存,比植物的叶绿体更灵巧,更便宜,更容易掌握。

农业种植生产活动的实质就是利用光合作用固定和转化太阳能。在单位受光面积上最大限度地固定太阳能,是农事活动的最高目标。在一个地块上,一年之中,收一茬和通过套种收两茬,后者就比前者多利用了太阳能。北方大部地区无霜期仅为120—160天,大田作物不能利用冬季里过半时日的阳光。如果用透光的塑料膜做一个大棚,就能在冬季变农闲为农忙,使这块土地上的太阳能更多地被固定下来。中国西北干旱、半干旱地区,即内蒙古西部、宁夏北部、甘肃西北部、新疆东南部的太阳能辐射总量是一笔巨额的财富,充沛的阳光“取之无禁,用之不竭”(苏轼:《前赤壁赋》)。《简明不列颠百科全书》对荒漠(DESERT)的诠释中,说了不少诸如植被稀疏、人口稀少的话,但在结尾处写到:“荒漠的自然生

产力比大多数生态系低,植物靠水,而其他有机体依赖植物,这就意味着干旱条件限制了干旱区的辐射、温度和其他生长因素,否则,能获得地球上最高水平的生产力。"[3] 在我们居住的这个星球上,不论是风云变幻、江河奔流这样一些自然现象,还是物种生息繁衍的生命过程,万象更迭的最大动力来源是太阳能。人类生活所吃的粮食、菜蔬、油肉、鱼蛋,生产和生活用的能源,例如汽油、煤炭;原料,例如木材、棉花,都是通过植物的光合作用固定、转化了的另外一种形态。既然"上天"给了我们这样重要的能源,有如此众多的太阳能,"大地"又造就了无以数计的能进行光合作用的高等和微型的绿色植物物种,我们的目标就是要想尽一切办法,通过光合作用,把最大量的太阳能贮备起来,开发出一个新时代、新纪元,把产业活动内容限定为用光合作用固定太阳能。这样,不但追本求源,指明了充分利用取之无禁、用之不竭的普惠阳光这个人类经济活动最重要、最基础、最有伟大前景的目标,而且确定了固定太阳能的工具是附着在生命活体上的叶绿体。它的结构最灵巧,功能最神奇,有不可取代的高效功率,又可以依靠自然的生命力自我更新、自我复制。这就端正了人类在沙漠地区经济活动的主要方向。

10.3 充分运用现代化技术是沙产业的内核

钱学森的沙产业理论,基于对地球表层客体的深刻认识,把提高太阳光的利用率的最大潜力和努力方向,寄托在高新技术的运用上,主张走出传统,跨行业、跨领域地运用物理的、化学的科学原理、信息革命的成果、新工艺、新材料、新技术,创造植物光合作用的条件,最大限度地利用太阳能。

充分运用现代化技术和新技术革命的成果,是沙产业的内核。

众所周知,沙漠地区的太阳辐射虽然全年之内都是充沛的,但植物赖以生存的条件却异常严酷。无论依靠天然的植被还是人工植被,都难以达到高效地固定转化太阳能的目标。这是因为太阳能转化器 绿色植物的生长,需要相应的积温、肥沃的土壤、足够的水源;沙漠地区植物生长的自然条件极不稳定,变幅异常剧烈。植物生长基本上服从于最小因素律,即生物的生产量受最差条件的满足所制约。满足程度最差的因素成为主导限制因子,它的状况不加改善,其他生态因子的优势都不会产生增产的效果。局限于沙漠自然条件的传统农业型生产,不会造就光合产量的飞跃。沙产业倡导利用现代化技术、新材料、新工艺,人工改善植物固定、转化太阳能的生境,就会极大地提高光合作用的效率。例如,用温室改变光热条件,就能摆脱不良气候的影响和季节的束缚;降低蒸腾和蒸发,就可极大地节约水的无效消耗;增加 CO_2 的浓度,就能提高光合作用的产量;改善光照质量和采用人工光源,能加速作物的生长发育,等等。新技术革命的成果开辟了广泛的可能,但技术上的可能不等于经济上合算。从目前的实际出发,应选择那些已有基础、易见成效、推广容易的技术,作为沙产业创建的新起点。例如,塑料膜(地下敷膜保水保肥,地表敷膜减少蒸发等)和温室技术的应用,滴灌、渗灌配套设施的推广,等等。用生物基因工程改良太阳能生物转化器,用人工种子繁衍良种,都有良好的前景。不过要步入实用阶段,并非一日之功。但在我国已被广泛掌握的立体种植、组织培养等农艺手段,在沙产业的集约经营中可收到立竿见影的实效。

1998年4月11日、9月5日钱老给刘恕的信中认为:"沙产业的一套做法实际是高科技农业生产的试验,它现在已经在社会主义中国的沙漠化地区取得成功;将来这套做法还有可能因地制宜

推广到全国各地，不仅限于沙区，如：1）在北方冬寒地区，搞反季节农业生产；2）在青藏高原，利用丰富阳光及地热资源，大大提高农业生产率，为青藏高原的发展做贡献（在拉萨附近已有试验，很成功）　沙产业实际上是未来农业，高科技农业，服务于未来世界的农业！"；"沙产业实际是农产业的节水高技术化"，强调要利用现代知识，利用信息革命的成果，利用新材料、新工艺，也包括对地球表层这个客体的系统论认识、系统管理的最新成果。这些人类知识的强大手段，在钱学森沙产业理论规定的活动范围内的实践，将使我们可以乐观地迎接21世纪的来临：一个食品丰富的世纪，一个人类理性支配自然、包括支配自己的世纪，一个在地球表层天、地、人和谐发展的世纪。

10.4　寓环境保护于经济开发之中是沙产业赖以持续发展的内在保障

在评估干旱、半干旱地区农业开发潜力这个众说纷纭的问题上，"一知半解"比"完全无知"更为可怕；"盲目乐观"比"因循保守"更危险。这是因为近百年来，人们在干旱、半干旱区的农业开发活动中，一再无视对自然条件特殊性的认识，以致多次在"征服自然"夺得丰收的喜悦之后，迎来了大自然的"报复"。加拿大、美国被开垦的草原上的黑风暴，曾迫使开发移民的大迁移和成批农场废弃。赫鲁晓夫的垦荒运动有过戏剧性的大起大落。土地荒漠化问题的科研结论告诉我们，导致环境退化多半通过风力和水力两个动因。强劲的天然风力引起土壤风蚀，人工灌溉导致土壤次生盐渍化。上述动因引起了土壤的肥力丧失。早在20世纪初，美国学者凯依斯对植被破坏引起的土壤风蚀有过生动的描述。他认为，风力引

起的"尘暴或沙暴,扮演着河流冲刷土壤同样的角色。但和大河相比,这个巨大的怪物把大量的沉积物裹胁在大气之中,宽300—500公里,而不是像大河那样2—3公里。它的时速达60公里,而不像河流那样时速仅2—10公里。它搬运走千百倍多的粉碎的物质。"[4] 土壤风蚀对肥力破坏的道理容易认识,但人们却受垦殖草原眼前利益的驱使,放松警觉,在20世纪一再重犯同样的错误。干旱区依靠现代化的技术使供水缓解,往往使人们不再珍惜用水;大水漫灌和强度蒸发的次生盐渍化,使世界上每年丧失约1/10的水浇地。

历史即将跨入21世纪。今天,爱护地球、保护环境被视为人类共同的道德准绳;留下经济繁荣和青山秀水的环境给后代子孙,已成为当代人的神圣职责。从环境保护、防治荒漠化的角度出发,发展沙产业是控制荒漠化的积极手段。因为沙产业会增加沙区光合作用的产品产量,第一性产品产出量足够丰富,人们为追求生活必需而进行的盲目开发行为才能得到控制,沙区的植物资源方能得到休养生息,持续发展的原则才能得到具体体现。

10.5 逐渐形成市场机制引导下的有效管理是沙产业健康发展的关键

沙产业的创建和形成,将是一个不断完善的过程。这个过程可体现为若干阶段。因而,在开初伊始,不应该把近期的目标和可能的发展远景相提并论。这是因为在技术飞速发展的今天,有深厚自然科学知识水平和聪明智力的科学家,善于集合物理学、化学、生物学等有关最新进展的精华,再加上很好的想象力和创新活力,沿着钱老指引的方向,可以把沙产业的远景,勾画得五光十色。

但是，我们选择了用产业来导引学术发展的道路，就必须把现实性和可操作性放在首位，把现在的立足地作为出发点。这样，一种追求实效的产业管理策略就是健康发展的关键。它包括：

——经济核算。有头脑的管理者首先要把经济实效作为目的。既重视加大投入、完善设施，又讲究成本核算，产出不能抵偿投入的消耗，即便在技术上合理，也不会有生命力；

——自主经营机制。沙产业发展的推动力，不决定于纸面上的规划多么周全完美，理想的远景多么诱人，关键在于地区领导人、技术人员和第一线的生产者对沙产业目标、手段的理解程度，特别是同利益和责任的密切联系程度。当领导和群众领悟到沙产业可以为他们带来实惠时，一种自主经营机制就会推动沙产业日趋完善，健康发展。

——产品。沙产业的产品结构以满足社会需求为目标，由市场导向。着眼于商品性生产，而不以自给为目的。

——分区指导，因地制宜。降水量、光热条件等天然因素的差异以及社会需求的不同，特别是局部环境的特点，要求人们在发展沙产业中仰承优势，回避短缺。

——小规模。大规模就伴随着资金高投入，回收长周期。鉴于沙产业目前仍是一种人工控制生境、利用作物高效转化太阳能的新农艺，受人员素质、管理经验以及市场诸方面的影响，在开初起步时，应维持小规模。

——集约经营。沙产业扬弃那种在大面积上用低投入掠夺性地利用水土资源的传统方式，即广种薄收。选择那些自然条件相对优异的地块，集约、高效地经营。

——龙头技术。当务之急是把国内外在干旱、半干旱地区以及滨海沙地上已经成熟的技术有计划地引进、移植，就地消化吸收

后加以拼接,特别要重视以色列这个"欧洲的冬季厨房"和日本的沙地利用经验。温室和滴灌是他们的龙头技术。

——示范基地。沙产业的真正价值如不在生产中得以体现,没有一个样板可以仿照,敬业的科研人员缺乏"试验田"来验证构想的可行程度,创建沙产业就是一句空话,人们也依然难以正确估价它的意义所在。

——优先项目。利用农村致富函授大学的成功经验,集示范、培训、技术推广为一体建立的示范中心,提高沙区太阳能光合效率和节约用水为目标,在内蒙古、河西走廊和新疆建立的沙产业示范基地,应作为沙产业创建的优先支持项目。

10.6 沙产业技术路线的通俗表达是"多采光、少用水、新技术、高效益"

为方便生产者把握技术要义,沙产业技术路线的通俗表述为"多采光,少用水,新技术,高效益"。天赐的阳光是地球表层生态系统的能源,光合作用是这个巨系统能源的"入口",把万象之源的能量最大限度地采收下来,就是沙产业的要义。合理利用天然降水和降水变成的径流以及渗入地层的地下水,是在沙漠地区求发展的关键技术。新材料、新技术、新工艺包含了当代科学技术和技术的进步,这些知识的投入,能摆脱传统农业对生产力的束缚。沙产业是知识密集型的大农业。没有高新技术的应用,沙产业就失去了生命力。高效益是一个综合的也是最终的评价沙产业的经济指标,这是创建沙产业的出发点,也是最终的归宿。

目前推动沙产业的措施办法,是用新材料构筑一个能起隔离作用的膜或壳。这种薄膜或介壳,有很好的阳光通透性能,但不利

于水、热的逃逸散失。种植地的地膜覆盖和设施保护地的塑料大棚，都是这种膜壳作用的形态。正是由于这种措施改变了水热交换的原始状态，起到了多采光、少用水的效果。

进行光合作用的主体植物种或品种优选，也是一个重要的方面。今后，理想的太阳能转化物可能是一些适合用工业化连续生产的绿色植物。例如，不是种植在田间，而是养殖在循环流动的管道之中的藻类。

10.7 沙产业理论为人类开辟新的生存空间

当前世界人口进入了快速增长的阶段，世界银行的一个研究报告估计，人口在未来的增加，将集中在目前缺吃少穿的贫困地区。目前，全球每增加10亿人口只需要十多年时间(公元元年世界人口1.5亿；1550年增加到4.5亿；1850年达到10亿。世界人口由10亿增加到1930年的20亿用了80年时间；由20亿增加到1962年的30亿用了32年。1975年，世界人口达到40亿。1987年，世界人口50亿，去年已达到60亿。)今年2月16日，联合国粮农组织在罗马公开了一份报告，其中说到，包括发展中国家的2亿儿童在内，全球约7.9亿人口食不果腹。33个国家粮食极度匮乏，其中13个地处非洲，埃塞俄比亚有800万人情况危急。有数以亿计的人挣扎于食品匮乏和卫生条件恶劣环境之中，可见保障人类粮食及食品需求任务仍十分艰巨。1996年11月，在罗马召开了首届以粮食为主题的首脑会议，会议通过了《世界粮食安全罗马宣言》和《世界粮食首脑会议行动计划》，呼吁各国确保全国持久的粮食安全。实际上，为维持人体生存所需热量和生命元素，主要是通过植物光合作用转化太阳能而来。太阳能是生命之源。在

1996年召开的科学家高级会议马德里宣言中，农业被称为是“当今世界最广泛利用太阳能行业”。[5] 幅员辽阔的干旱、半干旱地区占地球总面积10%，占非洲总面积55%，北美和中美洲19%，南美洲10%，欧洲2%，大洋洲35%，亚洲34%，由于其充沛的日光辐射，有可能造就极高的植物生产力，必然成为提供人类所需粮食、食品的新空间。

在这种背景下，钱老关于在干旱、半干旱地区的不毛之地创建知识密集型农业的科学构想用来满足人类的食品需求，就具有远瞻性的导向作用和全局性的战略意义。

10.8 发展沙产业应在实践

在论述一种可能，表达一个新希望前景的时候，必须不只停留在“说”上，而是要行动、操作。因为，实践活动具备不可替代的品质；实践的检验，是人们正确认识的根源之一。停留在“说”的阶段的思想、技术路线、方案、计划，和步入实践验证，有了实施效益、结果的，不管是好是坏，都不可以相提并论。重视实践行动，重视动手操作，因为只有经过实践后的认识，才能达到一个新阶段；实践充实理论，修正、完善理论。纸上的东西经过实践的鉴别后，其确定性在价值、“含金量”的天平上定位，是“可行性”的最佳注解。

1994年9月，在纪念钱学森沙产业理论十周年学术研讨会上，与会的同志有一个看法：钱学森沙产业理论作为一种跨世纪的沙漠利用战略构想，为我们指明了方向，但沙产业的真正价值如不在生产中得以体现，人们依然难以正确估价它的意义所在。有鉴于此，会议上提出：“向沙漠戈壁各地政府，向政府有关部门，向一切关心沙区环境和人民的有识之士呼吁，通过你们的力量统筹已

有的资金渠道，筹措一批中长期贷款，扶持建立沙产业专业公司，按照自负盈亏、自我发展的原则，重点发展沙产业龙头技术和带头产业，像滴灌设备公司、温室技术及设备公司、藻类产业公司等，并以点带面，推动发展。首先选择甘肃河西、内蒙古、新疆等地建立试点、示范基地，使以提高太阳能转化效率、节约用水为目的的沙产业能与其他产业处于同等竞争地位。”[6] 从1994年开始，仅仅过了不到五年的时间，这些目标，已变成和正在变成活生生的实际。

曾经长期在西北工作，至今仍关心沙区人民生活的宋平同志，在1995年11月30日视察河西后提出“要认真重视沙产业”，“坚决走这条路子。”[7] 温家宝同志在1995年11月批示中指出：“办好这件事不但有经济意义，而且有社会和生态意义。”[7] 姜春云同志在1997年3月，在农业发展银行关于支持沙产业建议书上批示：“抓得好，支持沙产业意义重大，也大有可为，应加大工作力度，以取得更大成效。”[7] 甘肃省委、省政府以及内蒙古自治区的领导同志都撰文支持沙产业。东起科尔沁沙地，西至天山南北，发展沙产业建设新型绿洲经济，已成为振兴当地经济的指导方略。

在甘肃张掖地区，共建立了13个沙产业综合开发示范区，地膜和保护地栽培近100万亩，其中日光温室、塑料大棚3.83万亩。山丹县沿312国道，在不毛的戈壁滩上建成235座大棚，其中有50座实行无土栽培。该县东乐乡在戈壁滩上，1997年建设的雨水汇流工程，利用暴雨径流发展沙产业，并建半地下温室300座，变戈壁为绿洲，使不毛之地变成沃土，充分体现“多采光、少用水、新技术、高效益”的沙产业技术路线。在河西张掖，沙产业示范基地作用，还体现在日光暖棚工厂化养猪，舍饲养羊，以及年产微藻干粉10吨的生产基地。特别是引进以色列电脑控制的全自动化温室4600平方米，滴灌、渗灌、微喷等各类节约用水设施示范区近200

亩 14个脱水蔬菜厂和现代化的猪厂，按照龙头带基地、基地连农户的形式，贸、工、农一体化经营。民乐县在戈壁滩上，按照“推良种，用良法，多采光，少用水，深加工，上规模，上水平”的方针，连片开发，规模经营。甘肃张掖地区，在地委、行署的统一指挥部署下，沙产业已蓬勃发展起来。在甘肃河西走廊的武威、酒泉、敦煌及内蒙古自治区哲里木盟、赤峰市，都涌现出生动的具有示范意义的沙产业典型。“绿起来，活起来，富起来”，这种生动形象的表述沙区群众建设沙产业决心和步骤的口号已经在不少地方得到实现。1996年12月2日，钱老在给刘恕的信中说：“今后工作我想还应在实践，发展沙产业，有了人人看得到的成绩才好宣传说服人。”。

推进干旱、半干旱地区不毛之地的农业现代化开发活动，其重大意义和作用，不言而喻。对此，国际上一些专家学者和政治家也有类似或雷同的看法和言论。印度总理拉奥(1994年5月23日)在新德里召开的一次国际会议(受联合国和世界银行支持的国际农业研究咨询组织会议)上致开幕词时说：“像印度这样的穷国(约有70%的人口靠农业为生)必须要找到开发那些不毛之地的新方法。”“从干旱到洪涝，或者贫瘠的盐碱地，这些都是一般性方法所不能解决的。”[8]

经过最近几年的实践，更多的人已经认识到发展沙产业是防治土地沙漠化的根本措施，是沙区人民群众脱贫致富的突破口，是缩小东西部经济发展差距的捷径，也是把干旱、半干旱区的大农业提高到现代水平的一条道路。我们充满信心，在党中央、国务院的领导下，大西北的明天，一定会建设成一个现代化农业文明和安定繁荣的边疆。

参 考 文 献

1 钱学森:《创建农业型的知识密集型产业——农业、林业、草业、渔业和沙业》,见中国科学院农业研究委员会编印的《农业现代化探讨》,第36期,1984.8.20。

2 钱学森:《发展沙产业大有可为》、《钱学森院士在会见沙产业研讨会代表时的讲话》,见《沙产业——跨世纪的沙漠利用战略构想》,中国环境科学出版社,1996,第3—12页。

3 《简明不列颠百科全书》第4卷,中国大百科全书出版社,1985,第52页。

4 凯斯·阿·斯,《风成微尘搬运和沉降的形成》,莫斯科,1976,第59—77页。

5 《马德里宣言》,科学学术高级会议,背景材料一,中国上海,1996.9.23—25。

6 刘恕:《沙产业——跨世纪的沙漠利用战略构想》,《科技导报》,1994(11),第3—6页。

7 刘恕主编:《步入实践的沙产业》,中国环境出版社,1998,第3页。

8 《农业研究应因地制宜》,路透社新德里1994年5月23日电,见《参考消息》,1994.5.30,4版。

第11章 钱学森论知识密集型草产业

我国拥有居世界第二、占国土41%的4亿公顷草地资源，但草地生产力比世界发达国家落后半个世纪以上。如用现代机械、化工、信息、生物等科技开发其潜力，则在国家面临人口增加、耕地减少、生态环境恶化、东西部发展差距加大的趋势下，将对未来中国人口、资源、环境、富裕、西部少数民族经济可持续发展等起决定性作用。国家杰出贡献科学家钱学森正是在这一形势下，以其博深的科学观、敏锐的洞察力和执著的求真精神，分析国情，调查研究，于80年代中叶首次提出创建知识密集型草产业理论及实践的具体主张[1]，并同我和其他草业界人士建立了切磋求索的"道义之交"(钱老语)。此后，在全国建立草地管理建设十大基础体系、20多省(区)40多个草地牧业综合开发示范点、草业科技发展和重大学术活动中，都得到钱老的关注、鼓励和指导。15年来钱老通过谈话和30多件信函，或赐教、或评论、或倡导，深入地论述了草产业的理论、内涵、科技、机制、管理及前景预测等思想，殷切地鼓舞草业工作者排难奋进。还为此多次向中央上书，呼吁成立国家级草地管理机构。钱老精辟的草业论述，不仅创建和发展了我国草产业科学，开拓了草地资源优化开发管理和21世纪可持续发展的光辉途径，还对世界草地资源科学作出划时代的贡献。

11.1 钱学森提出知识密集型草产业的背景

(一)世界发达国家经济与生态发展规律表明,优化管理开发草地资源是农业现代化和环境绿化的基础

1 草地是人类生存和发展的基本土地资源。全世界草地面积约占地球陆地面积的51%(其中天然草地占24%、疏林草地占16%、农田草地占11%)。世界上除森林以外的农用土地中,草地占70%。在地球上以太阳能转变为生物能的绿色植物中,草是种类最多、适应性最强、覆盖面最大、周转速度最快的可更新资源草地还是依存其上的动植物,微生物,矿物,风、光、水、气能源,自然和历史文化遗产等各类共生资源的载体。因而,草地和耕地、林地一样,是构成人类社会经济发展和生态环境条件的物质基础,也是生物多样性的天然园地。

2 世界文明发展史表明,人类从游猎经济时代进入游牧经济时代,主要依赖于对天然草地的利用。进入农耕时代后,天然草地利用和畜牧业经济仍在农业中占有重要地位。许多古代游牧民族曾在历史上创造了辉煌的业绩,其经济基础概依托于丰盛的草原。

3. 20世纪以来,欧洲、北美、澳洲等地区的经济发达国家通过对本国草地资源的优化开发管理,实现了农业发展和环境绿化的飞跃。各类草地生产力到80年代达到先进水平(6.7公顷草地畜产品单位产量:美国450、新西兰1500、澳大利亚200、法国3900),实现了农业结构转变(由食粮为主转变为肉、奶、蛋为主;由衣着棉、麻、化纤物为主转变为皮、毛、绒品为主)和城乡土地的绿化(由土地裸露、沙化变为“黄土不露天”),从而奠定了农业现代化和生态环境优化的基础。

这一规律是由人类对物质生活日益增长的需求、草地资源产品的特有价值、科技进步推动草地资源开发向深度广度发展所决定的。而发展中国家由于对草地资源的开发管理停滞在传统阶段，随着人畜增加，草地因超载过牧或开垦破坏，导致了严重退化、沙化，以致使城乡生态恶化，严重影响着社会经济发展和生态环境质量

4. 上述优化开发草地资源推动农业持续发展的规律，已为世人所共识。1992年3月，联合国粮农组织为解决世界粮食紧缺问题，向各国政府发出号召，建议把开发草地资源发展反刍动物作为保障世界粮食安全的战略措施。

（二）中国草地资源优化管理开发在中国经济、生态、社会持续发展中的战略地位[2]

1. 中国草地资源是中国国土资源的重要组成部分。我国草地占国土面积的41%，在除林地以外的农用土地中占75%。其中牧区3亿公顷，农区草山草坡8700万公顷，滩涂草地1333万公顷。草地类型之多（分为18大类38亚类上千种型）和天然牧草品种之富（有天然饲用植物1.5万种，其中有详细记载的6700多种），都居世界首位。各种牧草各有适应不同环境气候条件生长的特性，是开发生物工程技术的宝贵基因库。同时，草地上还分布有丰富的珍稀野生动植物、优良家畜品种、风能、太阳能、天然气、地热、水资源、各种矿藏、奇特地质地貌等自然文化遗产和名胜古迹等历史文化遗产，以及民族风情等人文资源，用以发展高科技高效益综合经济，潜力极大。这是我国生存资源禀赋中不可缺少的基本要素。

2. 中国草地是古代华夏族和蒙古、藏、哈萨克、回、裕固、塔吉克、柯尔克孜等中华各民族先民生存发展创造文明历史的摇篮，也

是现代社会经济发展和生态建设的重要基地。仅以十省(区)牧区草原统计,90年代初共有266个牧业、半牧业县,人口4000多万人,饲养草食家畜1亿多头(只)(其中大畜2700多万头,小畜7700多万只),年产牛肉、羊肉、羊毛、羊绒、奶类分别占全国总产量的25%、29.6%、52.7%、70%和28.2%,在全国牧业总产值中占有重要地位。因而草业和草地畜牧业也是构成我国现实生存资源禀赋的一大基本要素。

3 由于我国草地是国土生态环境空间的重要组成部分;又由于牧草(草坪)是防风固沙、保持水土、净化空气的主要地被植物,而豆科牧草又有根瘤固氮、改良土壤的特殊功能,在高寒、干旱条件下比林木有更强的绿化功能,因此草地生态和植草绿化又是衡量国土生态环境现状水平和未来治理国土的基本要素。

(三)我国草地资源优化管理开发落后给经济、生态、社会发展带来的负面影响

1. 由于社会历史的原因,目前我国草地资源优化管理开发状况比世界经济发达国家落后半个世纪以上。

20世纪30年代以后,世界经济发达国家在社会发展战略、机构设置、投资预算和科教事业发展中把草地资源的优化管理开发摆上重要位置。在观念上,把草地和优良牧草看做是“绿色黄金”(英)、“上帝恩赐之物”(法)、“立国之本”(新)、“绿色银行”(美)等。通过严格执法,围栏化保护、合理利用,不断改良和大力兴建人工草场(占到草地总面积的30%—80%),使草地生态和生产力达到一定优化水平。

我国受传统观念影响,一直轻草贱草,缺乏草的科学观念,更无钱老讲的“知识密集型草产业”的观念,不把我国拥有世界第二

的草地资源看做是“宝”。在国家发展战略、机构设置、投资预算及科教事业发展中，没有把优化管理开发草地资源摆上位置。至今我国没有国家级的草地管理机构和执法队伍。建国以来草原方针多变，几次草原大开荒，开垦破坏草原几亿亩，形成“头年开了荒，二年打点粮，三年变沙荒”；加上草原经营体制上长期“吃大锅饭”，人们只利用不建设，超载过牧；因而导致80%以上草原严重退化、沙化，产草量近30年来下降50%-70%。在草原建设上，50年来1公顷草原平均每年投入不到0.45元。全国目前草地围栏和人工草地面积不到总面积的2%。本来我国草地自然生产力水平同发达国家同类草地自然生产力水平是相等的[3]。然而，发达国家经科学管理建设使草地生产力达到优化；而我国却由于管理建设不善，使草地生产力严重退化，每公顷草地畜产品产量仅相当美国的1/20、新西兰的1/80。反过来，一些国人还把草地看做是荒凉不毛之地。

2. 草地资源管理建设不善，直接造成牧区畜牧业经济和南方草山区经济长期处于增长速度慢、生产水平低、发展不稳定的状况。由于草地生态破坏，抗逆能力下降，黑灾、白灾、鼠虫害、风灾等自然灾害频繁，摆脱不了贫困落后局面。

3. 草原退化和草山破坏导致国土生态环境恶化。由于草地大都分布于青藏、云贵、蒙新和黄土高原以及黄河、长江上中游高山陡坡山区，因而草地退化、沙化加重了全国风沙危害、水土流失和土地沙漠化、石漠化的扩展，影响到黄河淤积加剧、长江水患加重、沙尘暴愈演愈烈。同时，草原上的珍稀野生动植物资源也遭到毁灭性破坏。由于鼠虫的天敌减少，促使鼠虫害蔓延，更加重了生态环境恶化。

从全国土地荒漠化、水土流失和沙尘暴区域分布和成因来看，

除小部分源于森林砍伐和耕地退化外，主要源于草地生态的破坏。它已危及到农村、工矿区、城镇生产生活的安全，并在国际上造成一定的负面影响。

4. 草地资源管理建设落后对中国农业持续发展和农村进入小康带来不利影响

中国农业持续发展中存在着三大基本矛盾：一是农业发展与人口不断增加、耕地不断减少的矛盾；二是社会对粮食(包括转化为肉、奶、蛋的饲料粮)需求不断提高与粮食增长有限的矛盾；三是提高粮食单位面积产量与农业生态恶化(风沙危害、水土流失、土地沙漠化、水资源短缺)的矛盾。而在我国加入WTO后，又增加了一个新的基本矛盾：我国农产品要扩大进入国际市场与国外质优价低的农产品要打入我国内市场的矛盾。

无疑，这些基本矛盾如不妥善解决，必将影响我国农业的持续发展和农村进入小康。因为靠人均0.1公顷耕地、生产400公斤粮食是无法达到农村人均产值800美元的。而要妥善解决这些基本矛盾，就必须尽快优化开发我国的草地资源，让它在农业持续发展中发挥支柱作用。

事实上，我国草地资源优化管理开发的滞后，已对农业和国计民生产生不利影响。如：

我国是泱泱草国，但羊毛不能自给，毛纺工业每年所需羊毛原料2/3以上依赖进口，耗费外汇10亿美元以上。

我国奶类产量不足，人均奶消费水平排列世界末流。80—90年代靠联合国援助奶粉，加工还原才满足20个大城市对奶的需求。

我国饲料工业中，蛋白质饲料严重短缺，每年需从国外进口鱼粉、骨肉粉等100万吨以上，花去大量外汇。由于饲料质量不高，

造成畜产品质量低，难以在国际市场上进行有力竞争。

5. 草地资源优化管理开发落后，影响到东西部地区发展差距的加大。

我国西部12省(市、区)是五大民族自治区和七大牧区所在地，总面积占国土的70%。而在西部土地总面积中，草地占49.12%，林地占8.4%，耕地占7.49%。草地构成西部土地资源和环境空间的主体。正是由于长期以来草地资源管理开发落后，加上农、林业的薄弱，使得西部社会经济和科教文化长期处于贫困落后的状态，同东部的发展差距越来越大。

不久前，钱学森在给中央领导的一封建议书中讲到总结西部开发的历史经验时说，建国以来，西部有过两次大的建设，一次是50年代苏联援建156个项目，有些重大项目建在西部，一次是六七十年代的三线建设，这两次投入的资金、人才和科技含量等都相当可观，虽然推动了西部发展，但未从根本上改变西部落后状况。原因是这些项目并未同西部的经济基础，即农业的发展结合起来。而要搞好西部农业，也应有新思路。钱老在信中着重提出发展沙产业和草产业的问题。[4]

由于西部是五大民族自治区和各少数民族聚居区，所以东西部发展差距的加大，意味着边远少数民族区与内地汉族区发展差距的加大，实质上是扩大了民族间事实上的不平等，这是同马克思主义的民族政策不相符的。正如周恩来总理1957年在民族工作座谈会上所讲："我们不能设想，只有汉族地区工业高度发展，让西藏长期落后下去，让维吾尔自治区长期落后下去，让内蒙古牧区长期落后下去"，"如果让落后的地方永远落后下去，这就是不平等，就是错误。"[5]

11.2 钱学森提出创立知识密集型草产业的划时代意义

20世纪80年代，在国家立草为业的方针指导下，全国在草地管理和建设上，建立了草地资源调查与动态监测、草地管护、草地立法、草地家庭承包经营、牧草种子繁育与检验、飞播牧草、草地植保、草地类自然保护区、草地科研与教育、草地牧业综合发展示范项目网等十大基础体系，为草地资源大规模开发打下了基础。

80年代中叶，钱学森首次提出创立知识密集型草业产业。其基本含义是：以草地为基础，利用日光能量合成牧草，然后用牧草通过兽畜、生物，再通过化工、机械等一切可以利用的现代科学技术手段，建立起创造物质财富的高度综合的产业系统。他说，除草畜统一经营之外，还有种植、营林、饲料、加工、开矿、狩猎、旅游、运输等经营活动。草产业也是一个庞大复杂的生产经营体系，也要用系统工程来管理，也当然是知识密集型的草产业了。后来，钱老在关于草产业的三十多封通信中，又不断地丰富了这一论述内容。[6]

知识密集型草产业是钱学森科学的宇宙观和他创立的开放的复杂巨系统理论与大成智慧学说在草业方面的体现和贡献。它首先把以草地为载体和空间的牧草和一切共生资源看做是一个密切相关的统一体，草产业就是要运用生物、机械、化工、信息等一切可利用的现代科技手段，综合开发草地上以牧草为主的共生资源，在种植优良牧草、改良土壤、建立优化生态系统基础上，发展草、牧、林、渔、工、商、旅等连锁产业，建立起高度综合的、能量循环的、科学管理的、生态优化的、多层次、高效益的产业巨系统。这就把历来草地资源开发利用上孤立分割、技术分散、效益单一的传统方

式，变为综合开发、科技密集、效益耦合的科学方式。

钱学森知识密集型草业观不仅符合现代科技发展相互渗透、借鉴、结合的大趋势和社会经济发展要求持续高效优质的规律，而且完全切合我们的国情和历史经验教训，具有科学的理论根据、实践根据和现实根据。对优化管理开发我国草地资源，实施21世纪可持续发展战略，具有划时代意义。

长期以来，人们把草地单纯看做是放牧家畜的天然牧草地，看不到优良牧草和各类共生资源综合开发、科技集成的超优效益。钱老的知识密集型草业观，开拓了科学视野，使人们看到中国草地资源优化开发的巨大潜力和效益；进而看到西部大开发的途径和前景；也看到缩小东西部差距，使中国达到发达国家水平的保证。也为中外企业家参与西部开发和草产业项目打开了思路。

11.3 草业系统工程理论与模式的创立和应用成果

从理论和实践上剖析，草产业是一件极为复杂的事物，既包括自然科学，又包括社会科学；既有物理、事理，又有人理；既有种植业、养殖业，又有工业和商业；社会管理中又包括体制、法制、政策、机构、组织、人员配置等。学科门类就更多。在草地资源综合开发和草产业发展中，对于这样诸多变量因子只有把它们条理化、系统化，放到一定系统中一一加以解决，才能达到预期目标，这就是草业系统工程。

为了探索发展草产业的具体途径，在钱老论述的指导下，经过80年代以来在二十多省区四十多个试点项目（每个投资千万元以上）的反复实践，我们创立了草业系统工程的基本理论和模式。

(一)草产业的系统理论

按照草地资源开发和草产业综合发展所涉及的领域,草业系统工程可划分为生产系统和管理系统两大子系统(也有的学者主张增加一个科研教育子系统。在工程项目中,我们将它融合在生产、管理二个子系统中)和八个分系统:

1. 草业系统工程的生产系统

可分为前植物生产(自然生态)分系统、植物生产(种植)分系统、动物生产(养殖)分系统、外生物生产(加工、商贸等)分系统,这是按草业发展层次划分的纵向系统。

2. 草业系统工程的管理系统

可分为社会、技术、经济、生态四大管理分系统,这是草业的横向系统。

社会管理分系统:属于生产关系和上层建筑的范畴,包括草地法制、生产经营体制、生产方针、产品流通体制、各项经济政策、社会服务机制、市场条件等。它们受社会状况、地区特点、市场需求以至国际环境等所制约,在当前草业开发项目中是成败的首要关键。

技术管理分系统:这是直接决定生产力水平的杠杆,包括种植业、养殖业、多种经营及各类加工业的科技信息、技术设备及手段、技术经济指标、技术规程以及物质流、能量流的动态研究等。

经济管理分系统:这是生产力和生产关系的结合体,是决定生产力水平的另一重要方面,包括草产业经营方式、经济核算、各种经济关系的调整、合同制、投资效益、资金回收周转、产品销售等以及对资金流、时间流、效益流的研究等。

生态管理分系统:这是项目优化和持续发展的保证,包括草地

资源动态监测、生产生态优化管理、环境保护、生态效益测定及预测预报等 实践证明,在草业开发项目中,只有以草业系统工程的理论和方法为指导,才能把握规律和各环节的链条,达到理想效果

（二)草业系统工程的基本模式

20世纪80年代以来,我们在运用系统工程理论和方法进行草业综合开发的项目中,针对生产和管理子系统及8个分系统中存在的老大难问题,采取了相应的制约措施。这些问题有:生产上的技术落后、劳动生产率低及生产与科研脱节、人才缺乏等;经营体制上的个体分散、缺乏社会服务;经济管理上的"平均主义"、"大锅饭",不讲经济效益和投资有偿回收;产品流通上的产、供、销脱节,不按商品经济规律办事;社会管理上的无法无制、无章可循;组织管理上的官办方式、唯长官意志是从以及乱换班子等等弊端。经过十多年来在20多省(区)40多个项目区的反复实践,探索出了一条适合当前国情发展草产业的科学道路,即草业系统工程的基本模式,概括为:明确一个总体目标,实行三个"三结合"的方针,采取五项改革措施。

1. 明确一个总体目标,即以发展专业化、社会化、商品化的现代草产业经济为目标。

2. 实行三个"三结合"的方针,这是把草产业建设中存在的各类关系和问题进行系统处理,使之达到现代化草产业的结构和水平。它们是:

种植、养殖、加工三结合:以种草为基础,三者有机结合,协调发展。

生产、科研、培训三结合:使生产建立在建模、仿真等科学试验

成果基础上，免于失败；通过科学实验、生产实践、教育培训，不断提高干部、群众的生产管理和科学思想水平，培养从事现代化草产业的一代新人。

牧、工、商三结合：草地牧工商经济联合体，具有独立的经营自主权和产品销售权，避免了供销环节中压级压价、估皮断肉等剥夺牧业劳动成果或流通渠道不畅等问题，并通过办加工业，解决初级产品再增值问题；通过资金积累、扩大再生产和商品发展，使项目获得造血功能。

3. 采取五项改革措施，这是实施一个目标、三个三结合方针的具体措施：

改革草地和牧业生产经营体制：建立以适度规模家庭牧场为基础，以草业开发服务中心或草地牧工商服务公司为纽带，包括国营、集体不同经济成分在内的新的经济联合体。在发展家庭牧场中，还要注意处理好牧场户同集体、中心和群众等诸方面的经济关系。

改革生产技术：运用现代草地改良、科学养畜及畜产品加工等先进技术手段，实施技术改革。制定严格的各种生产制度、技术规程、技术经济指标和质量标准。定时对项目区管理技术人员和专业户进行技术考核，达到管理科学化、技术规范化、生产质量标准化。

改革经济管理：坚持按价值规律办事和用经济手段管理经济的原则，按照基本建设项目程序，要求一切从经济效益和投资回收周转效率出发，严格经济核算，建立严密的基建、财务档案制度。项目投产后，要求尽快回收投资，加速周转，发挥内部经济活力。

改革产品流通体制：草业经济联合体实行生产、服务、流通三结合，产、供、销一体化的体制，把过去商贸独家经营变为合理竞争的多渠道经营；把过去指令性购销变为等价互利的市场购销。联

合体通过对家庭牧场实行利润返还和产品保护价措施，促进牧民扩大再生产；通过薄利多销，加速商品周转；通过横向联系，扩大经营规模。这样，既发挥了项目的经济效益，又保证了家庭牧场生产不断发展，也使社会服务型的草业开发服务中心实体得到自我发展。

改革项目组织领导和总体管理方法：针对过去项目建设采用官办方式、投资按行政系统层层下达的种种弊端，草业开发实行项目管理。项目建设阶段，在中央有关部门宏观调控指导下，按照企业建设项目程序实施、检查和验收；由草业开发服务实体自主执行。在项目建成验收后，一切经营管理则由草业开发新经济联合体独立运转。在管理措施中采用法制手段、经济手段和教育手段三管齐下的方法，保证项目达到预期目的。

近十多年来，各省区运用这一模式，在不同类型地区建立草业综合发展的试验示范项目中，结合自己特点和优势，又创造出了许多不同形式的具体模式：如内蒙古西部干旱草原区的达拉特旗五股地家庭牧场模式，新疆荒漠草原区的阜康灌溉草地牧业经济联合体模式，贵州高寒草山区的威宁灼圃现代草业科技合作牧场模式，云南红壤贫瘠草山区的曲靖种草养畜联合体模式，湖南高山草山区的城步南山牧场种草、养牛、奶粉加工系统模式，湖北贫瘠高山区的鄂西种草养畜奶粉加工模式，海南热带草山区的白沙县草地牧业综合发展模式，广东南亚热带低山丘陵区的果草结合模式，天津宁河盐碱洼地的渔草结合模式等。其共同性是都具有较优化的生产管理体制和技术，都具有较高的经济效益、生态效益和社会效益。一些项目生产力水平已接近或赶上经济发达国家同类型草地的先进水平。许多项目得到到现场考察的中央、国家部委、省区领导及国外专家的称赞。

(三)草业系统工程基本理论和模式的创立和应用,为具体发展知识密集型草产业探索出一条成功的道路。它在内蒙古项目运用中获得国家部级科技进步二等奖。在参加国外学术交流中,引起国际科学界的重视。这个框架模式,能够把不同层次的科技内涵和建设规模包含在内,由初级到高级阶段性发展,前景是无穷无尽的,可作中外企业家投资草产业的借鉴。1992年元旦,钱老在祝贺中国草业协会成立的信中说:"草产业理论已有了初步的框架,今后还要在实践经验的总结中不断提高"。并指出:"这几年我国草产业已有不少成功的试点,从实践中证明草产业的概念是可行的,大有前途的。但也要看到,已有的成就离知识密集型草产业还有很大的距离"。"真正知识密集型草产业的出现,中国的第六次革命,将在21世纪下半叶。"钱老的评价和预见是有科学根据的。当然,我们要积极努力,争取早日实现。

当前,在市场经济条件下,随着草地资源开发,草业产业化在各地兴起,草业系统工程理论和模式的推广应用显得越来越重要。尤其在经营管理体制改革方面,多种成分的股份制联合企业将取代以国营为主的经济联合体;董事会领导下的经理负责制将改变"官办"带来的班子不稳定状况;追求效益和参与市场竞争,将给草产业带来无限生机和活力。

11.4 知识密集型草产业未来可开拓的领域与功效

(一)发展农区草产业和生态农业,解决农业持续发展问题[7]

针对我国农业持续发展存在三大基本矛盾和入世后传统的粮食作物将受冲击,农业急需转换机制创优增效、增加农村农民收入的形势,可通过发展农区草产业,发挥优质豆科牧草改良土壤、兴

牧增肥的生态经济功能,结合农业精耕细作的传统优势,再加上水利、育种及优化开发农区草山等措施,建立粮—经—饲(草)三元种植与农牧结合的结构,可做到:一、提高低产田粮食单产1倍到几倍,增加后备高产农田数千万公顷,保证未来我国人口增长对粮食需求的安全;二、在土壤生物改良基础上,发展特种种植业和名、优、特产品,扩大外向型农业经济;三、发展农区绿色饲料业、绿色养殖业和绿色食品产业,开拓国内外市场;四、转移农村剩余劳力,扩大就业,促进小城镇建设;由此达到农业优质高产高效,农民致富,企业增收,农村繁荣兴旺。

(二)发展牧区草产业和生态畜牧业,解决牧区生态经济繁荣发展问题

针对目前牧区草原普遍超载过牧、退化沙化、灾害频繁的状况,在加强科学管理的同时,要发挥优良牧草和各类共生资源的优势,在保护、改良草原和兴办人工草地的基础上,结合营林、水利、开发风能、太阳能技术、建立冬春饲草储备库、舍饲建设等措施,恢复草原优良生态和生物多样性园地生机,综合发展优质高产高效绿色草原畜牧业为主的多种经济,使牧区畜牧业的产品品种、质量、产量和产值成倍提高,牧区绿色商品畅销国内外市场,达到牧民致富,企业增收,牧区繁荣兴旺。

(三)发展绿色蛋白质饲料草产业,开拓草产品国内外市场

针对目前我国食物结构中肉、奶、蛋的供应主要来自农区养殖,而在配合饲料中蛋白质饲料年缺口千万吨以上和欧洲等地发生疯牛病,世界对植物蛋白质饲料需求日增的状况,可通过广种优质豆科牧草开展钱老提倡的用牧草快速、高温、低耗烘干加工新技

术生产绿色蛋白质饲料，供应国内外市场。如经快速高温烘干加工的苜蓿草粉含粗蛋白可达20%以上，胡萝卜素可达210mg/kg以上，18种氨基酸和微量元素等营养成分齐全，每公斤相当于0.9个饲料单位。人工草地每亩可产1吨草粉，产值1500元以上。如全国建立300万公顷优质豆科草粉基地，年产量即可达3000万吨以上。这不仅可替代相应数量的蛋白质饲料。也可促进世界无污染绿色养殖业和绿色食品业的发展，是农牧区企业经济发展可取的一条长盛不衰、持续高效的途径。

（四）发展生态治理工程型草产业，解决国土治理区生态经济持续发展和保护生物多样性问题

针对目前土地荒漠化面积占国土27%，水土流失面积占国土1/3以上，黄河、长江上中游和西部地区面积居半的草地退化严重及森林破坏等状况，在国家实施沙化治理工程、水土保持工程、退耕还林还草和保护生物多样性等绿色生态建设工程中，为吸取历史的经验教训，做到生态效益与经济效益相结合，保证生态工程的巩固持久，要发挥优质牧草（特别是旱生、超旱生牧草）防风固沙、保持水土、改良土壤及饲用、药用等诸多优势，结合开发水利、风能、太阳能技术等措施，发展以种植优良牧草为基础，草、灌、乔结合，牧、农、林结合，综合发展绿色生态经济工程型草产业。在实现"黄土不露天"，有效地治理风沙危害、水土流失、土地荒漠化的同时，因地制宜地发展绿色种植、绿色养殖、绿色食品加工及旅游业等综合产业，使生态恢复生机，国土治理区实现生态与经济的可持续发展。

西部草地分布有天然牧草和饲用植物数千种，比林木更能适应在高寒、干旱、荒漠、盐碱等不同土地气候条件下生长；牧草根系

多分布于土壤表层0—30cm至更深的土层中，比林木能更有效地保持水土和防风固沙。

如果在西部风沙危害区、水土流失区和戈壁荒漠区能广种适宜的牧草，加上造林、水利、工程等措施，则可望实现制止风沙和水土流失的危害。同时，通过植物调节气候，改善干旱的功能，促使西北雨量增多，逐步达到风调雨顺。

（五）发展林区草产业，解决林果区生态经济持续发展问题

针对长期以来，林区存在经济效益与生态效益矛盾，林民为谋生计砍伐林木屡禁不止和果园莠草为害影响效益的状况，在林区开展林果间种植豆科牧草，通过改土、除莠、助长、增质，不仅可达到林茂果丰，还可通过割草养畜养禽养鱼，大大提高经济效益，使林区实现生态与经济双优。

（六）发展南方少数民族山区草产业，解决少数民族经济繁荣发展问题

中国南方有7333万公顷草山草坡，大都分布于少数民族地区，具有气候温暖、雨量充沛（年均800毫米以上）、适宜优质牧草生长的优势。在各具民族传统特色经济基础上，广种优良牧草，创造物质财富，实行草畜（舍饲）结合、草粮结合、草果结合、草林结合，大力发展山区绿色特种种植、养殖、加工、民族特色产业以及旅游业等，达到生态持续优化、经济持续发展、民族繁荣进步。

（七）发展滩涂渔区草产业，解决盐碱滩涂区生态经济发展问题

针对滩涂区盐碱化需要治理和渔区优质饵料需求增长的状

态，可通过在盐碱滩区挖池筑坝，池内养鱼，坝上种草，割草喂鱼，并建立草、鲢、鲤三层结构的优化养鱼系统，达到既可改造盐碱滩地，又可促进渔业发展，增产增效。据典型测定，2公顷高产草地可供饲1公顷鱼池，1公顷鱼池可产鱼达7500公斤。在一般鱼池中投入优质牧草饵料，可使母鱼产卵率和鱼仔孵化率各提高30%。

（八）发展城镇草坪绿化产业，解决城市环境优化问题

中国城市草坪业近年来发展十分迅猛。随着迎接举办2008年奥运会和居民对绿色环境越益迫切的要求，要实现人均占有25平方米绿草地的现代化城市和居民健康环境标准，发展草坪业仍是一项方兴未艾、持续高效的产业。

11.5 启动全国性大规模草产业工程必须创新草业管理机制

我国经济、生态持续发展和国际市场需求形势，召唤中国知识密集型草产业大发展；草业十大基础建设体系的建立和钱老倡导下草业系统工程理论模式的应用成果，使中国大规模发展知识密集型草产业具备了条件和手段。当前，制约草产业大发展的主要症结在草业管理系统中需要创新机制，主要有以下四方面：

（一）创新国家草地管理机制，建立部级草地管理机构及相应体制。历史实践证明，在中国，管理机构是管理系统的首脑。长期以来，正是由于在中国六大自然资源中惟独占国土41%的草地没有部级管理机构，因此也就没有产业地位、发展规划、投资预算、执

法队伍，以及科研、教育等支撑系统。这是造成我国草地管理建设不力，草地退化沙化不堪收拾，同发达国家生产力差距越来越大，甚至下情不能上达的总根源。在目前体制下，即使国家对草业投入大量资金，也难以管好用好。钱老远见卓识，早在20世纪80年代就多次向中央建议，国家应设立草地管理局或草业部，并坚持这一意见不变。钱老的主张完全切中要害，只有创新国家草业管理机构，才能有效地启动全国性知识密集型草业的大发展。

（二）创新草地经营体制，在家畜私有私养条件下，必须坚持落实草地长期有偿家庭承包经营或企业承包经营的责任制。这也是钱老关注的问题，是实现草地有效保护、合理利用和科学管理建设的关键。这样，才能有效地执行草原法制，实现以草定畜，增草增畜，推行高新技术措施，发展知识密集型草产业。

（三）创新生态治理工程和草业建设工程的运行机制。应当改变目前国家生态建设资金按行政系统层层下达，由行政部门直接实施；或扶贫救济式的补助到户，撒了胡椒面；缺乏严格管理与监督，效果难以保证等状况。可实行由国家主管部门确定项目建设计划，规定工程目标、指标、期限、投资额度和监督、验收等制度，由经过考核合格的草业工程公司或专业工程队招标承建。在完工验收后，把建成的草地交付给政府，再由政府承包给牧民或企业使用，工程公司或专业队再承建新的工程项目。对承包到户的草地，可实行国家有偿投资，牧民贷款兴建的方式。这样，既做到建设一片，成功一片，见效一片，又做到资金回收周转，扩大再建设，从而有效地推动全国草产业大发展。

(四)把草业高新科学技术的研究和推广应用纳入国家重大科研项目计划。当前世界经济发达国家已将生物、信息等方面的高新技术用于开发草地资源,进行转基因作物、医药和新能源等的研究和开发。这正预示着钱老讲的第六次产业革命——生物技术革命的到来。而我国草业高新科技与研究,尚未得到国家主管部门和中科院的应有重视与支持。只有尽快改变这一状况,才能推动知识密集型草产业的发展。

中国草地资源的优化综合开发,知识密集型草产业的发展,草业系统工程理论和模式的应用,担负着伟大的历史使命

钱老在80年代预言:中国3亿公顷草原将来有可能年产值达到几千亿元,草业产业的前途是十分光明的。中国工程院院士任继周预测:南方草地如通过草地农业系统使生态建设与生产开发同临近地区建立起相应的系统耦合,其增产幅度可达7.28亿吨食物单位。[8]

如果我国在21世纪开头的30年内使草地资源得到全面保护和重点优化开发,通过开展草业系统工程发展知识密集型草产业,将30%草地建设为人工草地,将占耕地1/3的低产田改造为高产田,将占林地1/2的疏矮林区实行林草结合,将城乡裸露土地建成为黄土不露天的绿草地,将草原太阳能、风能、生物能等相关资源开发利用起来,则我国农牧业产值和农牧民收入将会成倍、成十倍地增长,城乡生态环境得到有效治理,东西部发展差距逐步缩小,从而保证21世纪中国人口、资源、环境、富裕和少数民族经济的可持续发展。

钱老对弱小的中国草业界和草业工作者是破格地鼎力支持和热忱鼓励的。例如,他同意亲自担任中国系统工程学会草业委员

会的名誉主任，同意草业委员会用他的名字设置“钱学森草产业科学奖金”。他为草产业发展亲自给草业界人士写信，仅他给我的亲笔信函就有30多封。在中国草业协会建立时，他致信勉励草业界同志说：“要大力宣传知识密集型草产业及第六次产业革命的光辉前途，要看到21世纪！光明的未来！看到美好的未来了，中国人就要通过革命的实践去创造这个未来。”今年元旦，钱老致函“向草业界同志拜年”。我在春节向钱老贺辞：“博学宏论瀛瀛，科巅建树森森，贺我大师钱老，喜度九十春风，金蛇狂舞欢庆，四海齐颂功勋”，聊表草业界对钱老的敬意。

参 考 文 献

1 钱学森：《关于草业的论述》，《草业科学》，1992(4)，第11页。
2 李毓堂主编：《草地资源学卷》，《中国资源科学百科全书》，中国大百科全书出版社、中国石油大学出版社，2000，第581页。
3 农业部畜牧兽医司、全国畜牧兽医总站主编《中国草地资源》，中国科技出版社，1996。
4 李毓堂主编：《1991—2020年全国草地区域开发规划》、《1991—2020全国畜牧业发展规划》，民族出版社，1991。
5 周恩来：《关于我国民族政策的几个问题》，见《周恩来选集》下卷，人民出版社，1984，第266页。
6 李毓堂：《草业——富国强民的新兴产业》，宁夏人民出版社，1994。
7 中国科学院可持续发展研究组：《1999中国可持续发展战略报告》，科学出版社，1999。
8 任继周：《中国南方草地与国土资源的持续开发》，见2000年6月中国高等教学技术中心编《中国草地的经济效益》，第49页。

第 12 章　钱学森论产业革命

钱学森同志是科学家、思想家。对当前这场新的产业革命，他站在马克思主义立场上，从现代科学技术发展的趋势出发，作出了深刻的、独到的分析。这里着重谈他的新见解。

12.1　怎样认识当前这场产业革命

20 世纪 80 年代初，未来学家 A. 托夫勒的《第三次浪潮》、J. 奈斯比特的《大趋势》、D. 贝尔的《后工业社会的来临》等著作，介绍了从第一台电子计算机发明以来世界出现的新情况。他们认为：在现代科学技术革命浪潮冲击下，社会将发生急剧的变化，一个新的社会形态将要出现。他们从各自的立场上，分别提出未来社会将是"第三次浪潮社会"、"信息社会"、"后工业社会"等说法。

究竟如何认识这场革命？它的性质是什么？对这个问题国内存在着不同的意见。当时比较一致的认识是：这是一场"新的技术革命"，这个认识见国家六个部委主办的"迎接新的技术革命——新技术革命知识讲座"。显然多数同志认为，这场革命的性质是技术革命，强调高新技术的出现及其引起的社会变革。

钱学森对此持有不同的认识，他站在马克思主义立场上，进行了新的分析，提出了以下的见解：

第一，这场革命虽然是由新材料、新能源、信息、生物、海洋、空

间等高新技术群引起的,但它的性质不是单纯的技术革命,而是产业革命,是物质资料生产体系的变革。

按照马克思主义的观点,技术革命实质上是生产力革命,它必然引起经济基础、上层建筑与意识形态的激烈变化。恩格斯在《英国工人阶级状况》(1845)一书中,就是按照这个观点,把由蒸汽机和棉花加工机所引起的英国社会的全面变革叫做产业革命。恩格斯详细研究了从1770年起将近60年的时间里,英国工业、交通运输业、农业以及经济关系的巨大变化,认为这些技术发明推动了产业革命,产业革命引起了英国社会的全面变革。恩格斯深刻地指出,这个产业革命最重要的社会后果是产生了"英国工人阶级",[1]它的状况"是当代一切社会运动的真正基础和出发点"。[1]

钱老坚持马克思主义观点,认为目前正在进行的这场革命,决不是单纯的技术革命,"而是全局性的、整个生产体系的飞跃变化",[2] 是产业革命,它带来的"不只是工业,还有农业,交通运输业,以至经济关系的变化。"[2] 因此,他认为,要按照马克思主义关于产业革命的观点"来分析这个问题,统一我们的认识。"[3]

第二,"产业"不是孤立地指某一门事业,"而是指整个物质生产的事业,其影响涉及全社会。"[3] 如农业或工业,它影响整个社会的物质资料的生产方式、生活方式直至思想文化。因此,社会历史时代的划分是以产业革命为依据的。

在上古时代,人们以采集和狩猎为生,直接从自然界取得生活资料,谈不上物质资料生产,这时候人和动物差不多,因为"动物所能做到的最多是**搜集**,而人则**从事生产**,他制造最广义的生活资料,这是自然界离开了人便不能生产出来的。"[1] 所以上古时代不存在什么产业,只有劳动工具出现,它意味着人对自然界进行改造的反作用,意味着生产,人类社会才开始有产业。按照物质生产活

动方式的变革,迄今为止人类社会经历了五次产业革命:

第一次是农业革命,出现了农、牧业,它发生在一万年前的新石器时代;

第二次是商业革命,出现了商业,"人们不再单纯为个人的生存、个人享用而生产,开始为交换而生产。"[3] 简单商品生产在中国出现于奴隶社会后期,即公元前约一千年;

第三次是工业革命,出现了工业,它以蒸汽机和织布机的发明为标志。工业革命的发源地是18世纪末的英国;到19世纪60年代,电机的出现把工业革命从机械化阶段推向电气化阶段;

第四次是垄断业革命,先后出现了卡特尔、辛迪加、托拉斯和康采恩等垄断公司,"生产不再是以一个工厂为单位,而是出现了跨行业的垄断公司",[3] 它们对产量、销售额、原料、产品设计、专利、销售网、广告等进行控制,加强了资本的统治,加速了自由竞争向垄断的转化,垄断公司出现在19世纪末;

第五次是信息业革命,信息业的出现以1946年电子计算机的发明为标志,随着计算机技术与通信技术的迅猛发展及其相互结合,信息业在国民经济的产业结构中占据越来越重要的地位。由于信息流通缩短了时空的限制,信息资源可以共享,"全世界将构成一个整体组织生产。"[3]

唯物史观认为,物质资料的生产是社会发展的基础,因此钱老认为,理应把当前这场影响人类社会发展的物质资料生产方式的革命称之为新的产业革命。

第二,科学技术不仅包括自然科学技术,而且包括社会科学技术,包括交叉科学技术。

马克思主义认为,人类认识世界的目的,只是为了改造世界,此外再无别的目的。研究自然科学的目的是认识自然、改造自然,

研究社会科学的目的是认识社会、改造社会,"使它更符合人民的需要和愿望,能更加为人民谋利益。"[5] 因此,社会科学技术与自然科学技术一样,都是提高人民物质生活和精神生活水平的工具,既然如此,科学技术应该包括社会科学技术以及自然科学与社会科学相交叉的科学技术。

钱老把商业和垄断业的出现分别称之为第二次、第四次产业革命,许多同志很不理解。他们对钱老的划分提出质疑:商品经济是人们的交换活动,垄断公司是现代企业的组织形式,它们属于社会活动与社会组织形式,这些都不是自然科学技术,何以称之为产业革命?这不是违背了只能有一个划分标准的逻辑规则吗?

钱老认为,商品经济与垄断公司的出现,是生产力发展到一定阶段上必然产生的、与生产力发展水平相适应的交换活动和组织形式,是与之相适应的社会科学技术,按照广义的科学技术概念,商业与垄断业的出现同样会引起产业革命。

12.2 如何认识产业革命与社会发展之间的关系

马克思的观点

1867年,马克思在《资本论》中从生产力与生产关系的矛盾运动出发,研究英国的技术革命、产业革命与社会变革的关系。

20世纪初,保尔·芒图的《十八世纪产业革命》(1906年),基本上按照马克思的思路,从技术、产业与社会制度相互作用的角度,论述了英国的产业革命,它被认为是经济史的一部经典著作。该书阐明了下列问题:

(1)产业革命的前因:主要是工场手工业的发展、商业的扩张和土地所有权的改变;

(2)产业革命的发展：表现为纺织工具机的应用、工厂制度的建立、新材料(铁)和新能源(煤)的使用，以及蒸汽机普遍应用于工业生产；

(3)产业革命的后果：产生了一系列明显的社会变革，如机器大工业的建立、人口的增长、工人阶级的诞生和工业资本主义的成长，以及由此产生的两种经济思潮——国家干预和自由放任。

钱学森发展马克思的观点。

19世纪末出现了新的情况："科学—技术—经济—社会一体化"的过程开始形成与发展。它的过程大致如下：60年代麦克斯韦电磁理论建立，从此开始了"科学—技术一体化"的进程；1876年爱迪生在新泽西州门罗公园建立"发明工厂"——工业研究实验室，把科学和技术研究应用于生产实践，开始了"科学—技术—生产一体化"的进程；20世纪初泰勒把科学实验方法应用于机器大生产过程，得出了工人的标准作业方法、作业时间与工作量，形成"泰勒制"的管理理论与管理方法；福特应用"泰勒制"于汽车生产流程的组织管理，首创流水线大量生产方式，促进了"科学—技术—经济—社会一体化"的进程。

在科学技术发展的新形势下，钱老发展了马克思"科学技术是生产力"的观点，从"科学—技术—生产—社会一体化"出发，在现代科学技术体系的基础上，对新产业革命做出了极为深刻的、崭新的论述：

第一，产业革命不是孤立的历史事件，而是科学革命、技术革命与社会革命相互作用的结果，因此首先必须弄清这几种革命的含义。

(1)科学革命。按照马克思主义质量互变的发展观，科学革命

是人类认识客观世界的质的飞跃，它改变了科学的面貌，改变了自然界的图景。在科学史上，如哥白尼日心说，牛顿力学，拉瓦锡氧化说，细胞学说，能量守恒定律，生物进化论等都是科学革命。目前正在孕育着的科学革命有物理学的超弦论，这个理论一旦建立，将把目前已发现的一百多种基本粒子统一起来，把强相互作用、弱相互作用、电磁力、引力这四种力统一起来。

钱老特别强调，不能把科学革命只限于自然科学革命，认识社会的飞跃也是科学革命。众所周知，马克思的历史唯物主义和剩余价值学说，在社会科学史上"是划时代的贡献，是人类认识社会的巨大飞跃。"[4] 正如恩格斯所说，由于这两个伟大的发现，"社会主义已经变成了科学"。[1] 社会主义改变了并且正在改变着世界历史的进程，产生了1917年俄国十月革命与1949年中国革命，目前我国人民正在进行有中国特色的社会主义建设。

(2)技术革命。这是人类改造客观世界的技术上的飞跃。它和技术革新的区别是："一般的技术改造，小改小革叫技术革新，大的根本性的突破性的变化叫技术革命。"[4]

在人类社会史上，从生产过程的工具、工艺与制品来看，技术发展经历了以下几个阶段：

古代：石器的制造，火的利用、纸的制造，等等；

近代：蒸汽机、内燃机、化学工程、电力、无线电、通信传输、航空技术，等等；

现代：半导体、电子计算机、遗传工程、激光技术、核技术、航天技术、海洋工程，等等。

钱老指出，现代的技术革命不同于近代，近代的技术革命是一项技术的革命，而现代的技术革命则是一个技术群的革命，如：新材料技术、新能源技术、信息技术等形成了一个相互联系、相互促

进的技术群体；其中每一个技术群又是由许多项技术构成的，如信息技术群就包括硬件技术、软件技术、应用技术、机器人技术和光纤通信技术等。

(3)产业革命。钱老指出，在国外产业革命这个概念用得很乱，常常和技术革命、社会革命分不清。在这样一种混乱的情况下，钱老认为"暂不提产业革命，而提新的技术革命是对的。但是，产业革命的概念是不好回避的。"[4]

按照历史唯物主义观点：由于生产力的发展，生产关系与上层建筑必然发生变化。钱老认为，这个变化首先体现在生产体系的组织结构和经济结构的变化上；既然工业技术革命引起一场产业革命，那么，这次新的技术革命"会不会再一次引起生产体系的组织结构和经济结构的飞跃？如果会的话，这是不是也是一次新的产业革命？"[4] 据此钱老认为，当前这场革命的性质是产业革命，它和技术革命虽然是有联系的，但却是有区别的。

(4)社会革命。马克思主义经典作家指出，迄今为止人类社会经历了下列五种社会制度，即：

原始公社制度→奴隶制度→封建制度→资本主义制度→共产主义制度

社会主义是共产主义的初级阶段。从一种社会制度过渡到另一种社会制度，是社会制度的飞跃，是社会革命。新技术革命提出的问题是：在社会主义制度下，由产业革命引起的社会变革是否是社会革命呢？

按照唯物辩证法的观点，在社会主义制度下，还会有生产力与生产关系的矛盾，经济基础与上层建筑的矛盾，它必然引起生产关系和上层建筑的变化，但这种变化不是社会制度的变化，而是在坚持社会主义方向的前提下进行的社会改革。所以，1984年《中共

中央关于经济体制改革的决定》指出，我国的社会改革“是在党和政府的领导下有计划、有步骤、有秩序地进行的，是社会主义制度的自我完善和发展。”在我国，由新产业革命引起的经济、政治与社会体制的改革，以及思想文化的建设，不是社会制度的改变，而是在社会主义的前提下进行的社会改革。

第二，科学革命、技术革命、社会革命、思想文化建设之间的相互联系与相互作用不是线性的，而是非线性的。

近代以来科学技术的历史发展过程是：“科学革命在先，然后导致技术革命，最后出现产业革命。这也就说明基础科学研究的重要性，有了科学发现才有跟上来的社会发展。”[3]

但是，一旦这几种革命出现之后，它们就相互联系、相互作用与相互促进，形成非线性的关系，在现实中就是“科学—技术—经济—社会一体化”的过程，表现为：产业革命的过程同时又是科学革命、技术革命与社会改革的过程。因此，钱老认为，在谈论新的技术革命及其引起的社会变革时，“应该同时考虑可能出现的科学革命和产业革命，这三者都是直接关系到我国经济建设、国防建设和社会发展的。”在社会主义现代化建设过程中，尤其要注意“研究科学革命、技术革命与产业革命，以及社会革命的相互作用问题。”[2]

第三，由产业革命引起的社会改革，其核心问题是社会组织结构的改革。

前面已经指出，社会革命是指社会制度的根本变革，它带来的是一个新的历史时代。在社会制度已经确立的情况下，产业革命带来的是一系列的社会改革，其核心问题是社会组织结构的变革。

世界知名管理学家彼德·德鲁克在论述管理的重要性时指出，现代社会是一个有组织的社会，“其中每一项主要的社会任务都由

各种大的组织来承担——从经济商品和服务的提供到卫生保健，从社会安全和福利到教育，从新知识的探求到自然环境的保护，都是这样。"[8] 而使各种组织取得成就、富有活力、对社会发展有影响的，是组织的管理者和组织的管理，在这个意义上可以说，没有组织就没有管理。

我国的改革是体制改革（包括经济体制、教育体制、科技体制、行政体制等），归根到底是社会组织结构与领导体制的改革。通过各种组织结构的改革，改变不适应经济基础的上层建筑，如：政体、干部制度、经济体制、农村生产体制、公司制度等。它们的改革关系到社会主义现代化建设的成败，在这个意义上说，改革就是社会革命。正是基于这个理解，钱老于1995年9月11日给我来信说：请您注意当今的信息技术的发展，它必然带来一次新的产业革命——第五次产业革命，"它不仅是科学技术的问题，也是社会组织的改革问题，……您何不组织力量探讨这个问题？即'第五次产业革命在社会主义中国'。"

12.3　在钱学森论产业革命中有哪些理论创新

新产业革命对现代科学、技术、产业、社会及人类文明将带来什么新的前景？钱老作为一个战略科学家、坚定的马克思主义者，对此提出了崭新的思想理论。他预见到新产业革命将带来的深远影响，对新的科学革命、技术革命、产业结构与科技人才等事关社会主义现代化建设全局的问题，提出了极为深刻的、独到的新见解。

（一）新产业革命将带来新的科学革命，要创立新的、有发展前途的科学，尤其是人体科学

钱老认为，新产业革命不仅带来深远的社会影响，而且它将大大开阔我们的眼界，开辟科学研究的新领域，为新的科学革命创造前提。

钱老以现代科学技术体系为依据，从现代科学技术的发展趋势出发，提出科学的预见，他预言：系统科学，思维科学，人体科学，都是有可能在不久的将来出现的科学革命。

（1）关于系统科学。钱老以马克思主义哲学为指导，多次论述以系统科学为基础的系统辩证法，将大大丰富和发展唯物辩证法的内容，并推动系统科学的发展；特别是系统科学将以其日益丰富的材料，证明唯物辩证法关于自己运动、普遍联系与相互作用的基本原理的正确性（钱老关于系统科学的辩证法思想，苗东升教授已有论述，这里不赘）。

（2）关于思维科学。钱老多次指出，现代的竞争是智力竞争，智力的关键是创造力，而创造力的首要前提是创造性思维，因此他提出，要从两方面对创造性思维进行研究：

一是技术方面对智能机的研究。机器减轻人的体力劳动，计算机减轻人的脑力劳动，智能机则增强人的智力。从信息到知识到智能，这是一个非常复杂的过程，其中有许多问题需要研究，需要解决；

二是理论方面对创造性思维的研究。对逻辑思维的研究，从亚里士多德起已两千多年；至于辩证思维问题，直至今天仍然是一个激烈竞争的场所；对形象思维的研究，从别林斯基1841年在美学领域中提出以来，不过一百多年；在以创新为生命力的科学技术急剧发展的形势下，一股创造性思维研究热潮迅速兴起，如果从“创造工程之父”奥斯本发明“智力激励法”和发表《创造性想象》（1953）算起，将近50年。创造性思维研究领域发展很晚，但创造

性思维能力是人类智力的核心,它是逻辑思维与形象思维的综合运用,有待进一步深入研究。

钱老认为,上述两方面研究的关键是从形象思维取得突破,要大力研究直觉、灵感、顿悟与想象等思维形式(钱老关于思维科学的思想和观点,卢明森教授已有论述,这里不赘)。

(3)关于人体科学。这是钱老开辟的科学研究新领域,按照我的理解把钱老关于人体科学的基本思想与基本观点概括如下:

人体科学研究的对象,是人(开放的复杂巨系统),和人与整个宇宙环境的关系(开放的复杂超巨系统)。

本来,在人类社会发展史上,人始终是科学技术的创造者、使用者与传播者,对人的研究应该摆在头等重要的位置上。但是非常令人遗憾,"人类对自身的了解和研究,至今仍不全面、不彻底。……还不能全面地了解人体复杂的整体功能。"[6] 人体科学研究大大落后于物质、能量、信息与生命的科学。

其主要原因之一是人体科学研究的难度最高,因为人与其他生物的区别在于:人有精神、有意识,因而对人体的研究必然要涉及物质与精神、客观与主观、大脑与意识的辩证关系;但是关于人体的研究,特别是人的潜力究竟有多大的研究,"从前都与迷信的东西搞在一起,搞乱了,不是科学地来看这个问题"。[4]

研究人体科学的观点:(1)在哲学上,要用辩证唯物主义观点来指导,因为物质与精神、客观与主观、大脑与意识的辩证关系是哲学的基本问题。所以,研究人体科学的观点"首先是要唯物的",[4] 要坚持"物质是第一性的,意识是第二性的"[4] 观点;"不要唯心的",[4] 反对脱离物质来研究精神。"其次,要辩证地看问题,不是机械唯物论",[4] 这就是说,要承认意识对物质的反作用,承认物质可以变成精神,精神可以变成物质这样日常生活中常见的飞跃

现象。(2)在科学上，指导思想是“整体论与还原论的结合、辩证的统一”[4]宏观与微观辩证统一的系统论，把整体与局部、综合与分析辩证地统一起来。此外，由于现代的机器(包括计算机在内)已经成为人类增强自身能力与改造周围环境的必不可少的工具，因而有必要从人—机—环境这个大系统去研究人体科学的问题。

研究人体科学的方法。第一条要“多做实验，少谈理论”[4]马克思、恩格斯指出：“科学是实验的科学，科学就在于用理性方法去整理感性材料。”[1]因此钱老认为，理论探讨固然重要，但现在更重要的“是科学实验这方面的工作。”[4]我们要“老老实实地做观察实验”，[4]“不急于去找机理机制的，物理的解释。”[4]第二条要“敢于否定自己，勇于创新”[4]，“敢于跟旧的东西脱钩，用新的概念”，[4]因为科学的本质就是创新，没有创新科学就没有生命力，没有创新，科学就不能前进。第三条要“解放思想与严格的科学态度相结合”[4]。

人体科学技术体系。按照从实践到认识的过程，可以划分为四个层次：

马克思主义哲学，而人天观则是马克思主义哲学与人体科学的桥梁；

人体基础科学。即人体学、生理学，心理学，脑科学，精神学，等等；

人体技术科学。中医学、西医学(病理学，药理学，免疫学，寄生虫学)、人—机工效学，等等；

人体工程技术。即实用科学。一是关于人本身的，即：第一医学(治病)，第二医学(防病)，第三医学(康复)，第四医学(开发人潜在的能力，它包括提高人的智力、体力、能力以及提高人适应恶劣环境的能力)；二是关于人与环境的关系，如：人—机—环境系统工程。等等。

人体科学的关键问题。这主要是中医(更具体地说是经络)、气功与特异功能问题。钱老认为,"这三个东西是一个东西,有相互密切的关系。"[4] 关于特异功能,钱老提出下列看法。

(1)什么叫特异功能? 这"实际上就是人的潜能",[4] 是人体这个开放复杂巨系统的一种功能态。陈信教授指出:人体功能态是描述人体这个开放复杂巨系统的整体功能的,"对人体科学的研究和发展有着极为重要的意义"。[6] 对人体功能态,他做出如下的分析:

①人体功能态有好多种,在日常生活中可以观察到的有:觉醒功能态与睡眠功能态(这两种功能态是任何人在24小时内一般都要交替进入的)、危机功能态(在遇到如火灾等危机时,人们的生理、心理功能就调节到应急的功能态)、警觉功能态(人们在短时间内作出超出一般的努力的功能态,如在体育竞赛、战士冲锋上阵、特技飞行等情况下,人体要调节到适合环境的特殊要求的一种功能态),等等。

②调节人体功能态的手段有三种:一是与外界进行物质交换,如吃药、打针、饮食、呼吸等;二是与外界进行信息交换,如通过声波或电磁波以非常复杂的形式进行信息交换;三是通过人脑自身所产生的意识进行意识调节,这是调节人体功能态的一种极为重要的手段,是只有人才具有的。

所谓特异功能问题,实际上是人到底有多大潜力的问题,这是我们还没有认识、没有研究的领域,"我们得好好研究"。[4] 在与人体息息相关的医学领域中,如果把治病、防病、康复分别称为第一医学、第二医学、第三医学,那末,可以把"提高人的能力,挖掘人的潜力的医学叫第四医学。"[4]

(2)是否有特异功能? 钱老认为"确实有特异功能",[4] 这是现

在我们还不认识的现象,"我们今天还没有办法解释它们,所以加上'特异'二字来形容它",[4]"一旦认识了它的本质之后,就不再是特异的了。"[4] 对这样一个没有认识的现象,"不是(说)没有假的,(但是)只要有一次是真的就要研究。"[4] 当然,我们研究特异功能"又要解放思想,又不能胡说八道地乱来。"[4]

(3)如何研究特异功能? 一要多做实验,"对于人体的潜能、人体特异功能,或者人体功能态的问题",[4] 最根本的"就是老老实实地做观察实验。"[4]"达不到一个科学实验的要求,这样的实验你做的再多,也无济于事,最后不能够把问题搞清楚。"[4] 在《人体科学与现代科技发展纵横观》(钱学森著,人民出版社,1996年)一书中详细列出了,从1983年5月23日到1987年10月5日四年半时间内,由不同领域的专家、教授做的80多份实验报告,它们涉及控制论、脑科学、免疫学、分子生物学、生物医学等十多个科学领域,钱老在每次实验报告会上都作了发言。

二要"与现代科学相结合"。[4]"研究人,要搞人体科学,很重要的就是把现代科学的各个方面综合起来。"[4] 不能只从生物学、生理学这些方面去作文章,可以从脑科学、心理学、仿生学、神经行为学、血液流变学、电磁生物学、生物磁学、航天医学、分子调整医学(波林提出的)等方面进行研究。在钱老的指导与关怀下,关于这方面进行了大量的工作,见诸《人体科学与现代科技发展纵横观》一书。

三要创立以马克思主义哲学为指导的方法论。人体科学是一门研究开放复杂巨系统的科学,沿用简单性科学的方法是难以解决问题的,必须在方法论上有重大的变革和发展。钱老运用辩证唯物主义的观点与方法,总结了生物科学认识史上的方法论,认为,在生命科学研究中,长期以来沿用的还原论方法对生命科学的

发展虽然起过十分重要的作用，促进了分子生物学的产生，并应用于生物工程，对人类做出了重大贡献。但是，单纯用以分析为主的还原论方法并不能解决人体的整体功能问题。从唯物辩证法的观点看来，必须用简单与复杂、分析与综合辩证统一的系统科学的方法论来研究人体的整体活动。这就是钱老提出的：整体论与还原论辩证统一、微观与宏观辩证统一的系统科学的理论与方法，简言之，就是从定性到定量的综合集成法。古代整体论有综合没有分析；现代还原论有分析没有综合；要在复杂性科学的基础上用辩证的观点把两者结合起来。

(4)对特异功能研究采取什么态度？特异功能问题是人的潜力问题，这是一个未知的领域，"实际上还是在探索，还不能说是开始了真正的研究。"[4] 在探索过程中，"谁也不能保证完全正确，自己不要这样想，别人也不要这样要求。"[4] 但是必须采取科学的态度，"科学是一个非常严格的东西"。[4]

(5)要注意研究特异功能可能带来的社会问题。由于特异功能涉及人的意识、人的精神、人的潜在能力，在尚未弄清其科学机制的情况下，很容易发生下列问题，如：

"宗教界想利用人体特异功能的牌子搞活动；

电影、电视片利用特异功能哗众取宠；

新闻、报刊歪曲报道特异功能事例，引起的影响。

一部分科学家说，特异功能不讲功能的理论，说它不科学，提出要研究人体特异功能与社会的关系"[4]。

人体科学的任务及其重要性。

(1)任务。人类创造了文明，创造了无数的人间奇迹，但是人类进步到现在，有个很大的问题要解决，"就是人还要把自己的能力大大地提高一步。"[4] 钱老认为，人是有很大的潜力的，要开发出

来，“道理很简单，伟大科学家、伟大思想家、高度智慧的人，在娃娃时代，他也没有高度智慧，……没有生下来就是爱因斯坦。”[4] 钱老开创人体科学这一研究领域的目的，就是要开发人的潜在的能力，它包括人的智力、体力、能力以及人适应恶劣环境的能力。

在人的潜力中智力特别重要，因为21世纪是智力战，国与国之间的竞争说到底是智力的竞争。人体科学技术的任务，就是要开发人的潜能，培养与提高人的智力。这"无疑是最难的任务，是最难的尖端技术。钱老指出，人体科学研究的难处在以下两个方面：一、它不是单纯处理物质（大脑），而是要处理精神（大脑的高级活动），还要加上物质与精神的相互作用，这就更复杂了。更何况，我们对意识、精神的物质基础——大脑，“连其基本结构和其组成部件之间的相互作用都还不清楚”，[9] 脑科学还处在起步阶段，在这种情况下，研究人体特异功能，研究人的潜在能力谈何容易；二、“社会上对这个难题能够理解的人还是有限的，很多人都有糊涂认识，……觉得钱学森这个人怪，怎么搞这些歪门邪道。”[4] 许多人往往把研究特异功能与搞迷信活动、伪科学搅和在一起，所以这个研究工作要受到社会舆论的压力。

（2）重要性。在近代史上，第一次文艺复兴“打破了中古时代的愚昧，开辟了近代科学发展的道路。”[4] 人体科学研究人的潜在能力，“人有没有潜力？有多大潜力？”[4] 这是人体科学研究的核心问题。在研究过程中必然会遇到各种各样的困难，因为这是新的、未知的研究领域，“旧的东西接受不了，就会给你制造各式各样的困难，甚至于把你消灭掉。”[4] 要打破这种束缚人们头脑的东西，使人的智力，使我们认识客观世界和改造客观世界的能力，“来一次更大的总的飞跃，这难道不是第二次文艺复兴吗？”[4]

人的潜在能力是非常大的，迄今没有完全挖掘出来。开发人

的潜在能力这是关系国家民族命运的大问题。21世纪是智力战，“我们要在世界上立国，站得住，一定要在智力的开发上领先。”[4]教育制度、教育方法的改革，说到底是要把人的能力大大地提高一步。总之，人有很大的潜力，但每个人的发展并不一样，教育家的任务就是要把人的潜力开发出来。所以，早在1985年邓小平在全国教育工作会议上就指出，我国是12亿人口的大国，“教育搞上去了，人才资源的巨大优势是任何国家比不了的。有了人才优势，再加上先进的社会主义制度，我们的目标就有把握达到。”

(二)新产业革命将带来新的技术革命，系统工程就是管理技术和方法上的革命

钱老指出，20世纪的新技术革命“是复数的，是一个新的技术革命群。”[2]他认为，在新材料、新能源、信息、生物、空间与海洋等技术外，还应该增加一项，这就是系统工程，它是管理技术革命。

有中国特色的系统工程是钱学森等同志吸收了国外关于系统工程的研究成果，在我国现代化建设中加以提炼与综合，并用系统学的理论与方法进行概括，独立地创建的、现代社会的组织管理技术。

众所周知，管理是提高生产力、推动社会经济发展的重要因素。自第二次大战以来，管理在美国经济繁荣、欧洲与日本的经济复兴中起了重大作用，于是管理热潮很快就扩展到发展中国家。人们普遍认识到：在经济和社会的发展中，管理是重要的因素；发展中国家不只是在发展上落后，更是在管理上落后。

彼德·德鲁克指出，在有组织的现代社会中，所有组织为了完成它们担负的任务，都需要解决管理问题，即：如何把人员、资源和工作组织起来以提高生产效率，提高工作效率？如何制订组织发

展的战略规划？如何提高组织的应变能力，以便在不确定的情况下做出决策？等等。日本曾经提出管理是生产的第四要素的理论，其他三个要素是劳动、土地和资本。

西方管理科学技术发展的道路是同资本主义生产的发展紧密相联系的，它经历了以下三个阶段：

第一阶段，物的管理即科学主义管理。19世纪末、20世纪初以泰罗为代表，应用科学实验方法，测定机器大生产过程中工人的“标准作业方法”、“标准作业时间”和“标准工作量”。应用科学管理大大提高了劳动生产率，改进了劳动组织，这是泰罗在管理科学史上的一大贡献。当然也应该指出，在资本主义制度下，科学主义管理把工人看做“物”，更准确地说，看做“机器的附属物”，因而其实际结果是：它一方面加强了资本对劳动的剥削，列宁称之为榨取血汗的艺术的进步；另一方面通过超额奖励的办法缓和资本家与工人之间的矛盾。

第二阶段。人的管理即人本主义管理。从20世纪20年代中期起，管理科学发生了从科学主义向人本主义、从物的管理向人的管理的重大转变，在这个方向上先后出现了各家各派的学说，如：梅奥和罗特里斯伯格的人际关系学说，用“社会人”代替“经济人”；马斯洛的人类基本需要等级论，按人类基本需要的重要性，分成生理、安全、感情和归宿、地位或受人尊敬和自我实现五个等级；道格拉斯·麦格雷戈的X理论—Y理论，强调领导者要为组织成员的才智和创造力创造条件，提供机会，把个人目标和组织目标协调统一起来，等等。人本主义管理把注意力转移到管理过程中人的作用问题上，但他们把资本主义制度看做是永恒的，因而他们是以抽象的人性论观点来看待人的作用问题。

第三阶段。事的管理即决策管理。20世纪40年代中期，以

赫伯特·西蒙为主要代表，他从系统论出发，把信息观点与计算机技术结合起来，提出：(1)管理就是决策；(2)强调数学与电子计算机在组织管理上的应用；(3)把信息论与系统论的观念引进管理方法。西蒙注意到人在决策中的作用，但是他侧重的仍然是自然科学的方法，并没有充分考虑人的世界观、人生观和价值观在管理中的决定性作用。

钱学森等同志创建的有中国特色的系统工程，是管理技术的重大创新。虽然，早在20世纪40年代"系统工程"就已经由美国贝尔电话公司在设计电话通信网时提出，但经过钱老对它的改进、综合，并从马克思主义认识论的观点把它提升为一门理论与实践相结合的科学技术，这就改变了"系统工程"的理论观点、增加了它的科学内容、改进了它的科学方法。钱老的创新工作主要内容如下：

首先，他明确指出，"系统工程"不单纯是一项技术，它隶属于一门完整的科学部门——系统科学。按照马克思主义认识论的观点，"系统科学"这个部门分成如下的四个层次：

系统科学的哲学：辩证唯物主义哲学，而系统观则是哲学与系统科学之间的桥梁；

系统科学的基础科学：系统学，它吸收了一般系统论、耗散结构理论、协同学、突变论、超循环论等的成果；

系统科学的技术科学：①运筹学(线性规划、非线性规划、博弈论、排队论、库存论、决策论、搜索论等)；②信息论；③控制论；

系统科学的工程技术：①各门系统工程；②信息工程；③自动化工程。

其次，钱老的"系统工程"把"工程"的概念深化了，它不仅包括"物理"、而且包括"事理"，更为重要的是它还包括"人理"，这样就

把"工程"的概念深化了,使"工程"概念发生如下的变化:

最初它是指硬工程。这是传统的"工程"概念,它的含义是:把自然科学技术的原理应用于工程实践,设计与制造出新产品或新工艺的过程;

然后它是指硬工程和软工程。在古德和麦克雷尔的《系统工程》(1957)一书中,把原来的"工程"概念扩大为三个方面,即:工程实施过程、工程研究过程与工程所需的知识背景,这也就是霍尔的三维结构:时间维、逻辑维与知识维。时间维是关于"物"的,是硬工程;逻辑维与知识维是关于"事"的,是软工程;"硬工程"和"软工程"合在一起称为"系统工程";

钱老把"工程"的概念进一步加以深化,他坚持历史唯物主义观点,认为"人"是一切事物中首要的因素,因而"系统工程"的核心是人。故此,在钱老的"系统工程"概念中不仅包括硬工程与软工程,更重要的是包括人的因素,即:包括"物理"、"事理"("事理"作为科学概念是许国志同志首先提出的)与"人理"(顾基发同志称之为人件,以和硬件及软件相区别)三个方面。经过钱老在理论上改造与提升的"系统工程"概念,实质上是关于人的组织管理技术,而物理与事理则是组织管理的基础条件;它突出了人的因素,强调只有通过组织、通过组织中的人才能发挥管理的作用。

刘源张教授深刻地阐明了钱老的系统工程思想,他说:"系统的复杂性全在于有人。没有人在其中的系统,不管它在结构上有多复杂,它也不能是复杂系统,因为没有人的复杂结构总可以用'物理'最后说明,而有人的真正复杂系统要用'人理'去说明。"[6]人理包括人的观念与人的行为,在管理中人的观念起着特别重要的作用。刘源张教授指出,我国企业改革首先是人的观念意识的改变,在全国企业四次经营管理大学习中,70年代末"学北内",解

决质量意识问题；80年代初“学首钢”，解决责任意识问题；80年代中“学武钢”，解决效益意识问题；90年代“学邯钢”，解决成本意识问题。在管理过程中，人的意识包括个人的、企事业的以至全行业的意识

再次，钱老对系统工程方法进行了综合创新，提出了：(1)五结合方法。即：还原论与整体论结合；定性描述与定量描述结合；局部描述与整体描述结合；确定性描述与不确定性描述结合；系统分析与系统综合结合；(2)系统建模方法。建立模型、进行系统仿真与系统分析；(3)系统评价与决策。对系统开发提供的各种可行方案，从社会、政治、技术等方面进行综合考察，为选择最优方案提供科学依据；(4)从系统观看工程对象。工程对象是一个系统，它包括三个组成部分：对象系统、环境系统和研究开发系统。工程对象的系统观对于分析工程对象的历史与现状，提出协调方法，做出社会与经济的评价并预测其未来，制订发展战略都是至关重要的。

最后，钱老大力主张把系统工程应用于中国现代化建设。早在改革开放之初他就提出“大力发展系统工程，尽早建立系统科学的体系”。在钱老倡导下，系统工程的发展非常之快，几乎遍及工程技术和社会经济的各个方面，今略举其要者如下：

(1)社会系统工程。80年代初，由国务院发展研究中心牵头，西安交通大学等国内重点高校和科研单位参与，运用系统工程方法共同对“2000年的中国”进行了系统的研究；

1992年江泽民同志在党的十四大报告提出：“我国经济体制改革的目标是建立社会主义市场经济体制，以利于进一步解放和发展生产力。”紧接着他特别强调指出：“建立和完善社会主义市场经济体制，是一个长期发展的过程，是一项艰巨复杂的社会系统工程。”

(2)经济系统工程。90年代初,在国家863智能计算机组的支持下,中国航天工业总公司710所、中国科学院自动化所、华中理工大学系统工程研究所三方联合进行了宏观经济智能决策支持系统的研究与开发;

(3)环境生态系统工程。在三峡工程论证过程中,应用了系统工程方法,对这一工程建设对我国经济发展、国家财政承受能力、水土保持、环境保护、人口迁移、工程项目建设组织等方面,进行了系统的分析研究,为三峡工程的最终决策提供了丰富翔实的决策参数报告。

此外还有区域规划、能源、人口、教育、科技、军事、农业、企业、交通运输等系统工程的研究与开发。

(三)新产业革命必将带来农业的伟大变革,迎来一次新的产业革命

钱老认为,当前这场新产业革命必将从根本上改变传统的农业,出现新型的、知识密集型的农业。1984年新技术革命的冲击波刚刚进入我国,钱老就开始考虑这场革命将对我国农村带来的变革,他从战略科学家的高度提出新的问题:我国农村"是不是在酝酿着一次21世纪的产业革命?"[2] 对于这个事关中国现代化前途的大问题,他很快就形成了一个具有前瞻性、全局性的战略思想:在产业革命的新形势下,必须尽快创建知识密集型农业,使我国农业跟上时代的要求。

钱老首先分析了工业时代的动力,认为它主要是利用煤、石油、天然气和核能等能源。钱老指出,实际上最大的能源是太阳能(直接的太阳能是太阳的光照,间接的太阳能如风能、水力等)。假定:(1)我国960万平方公里的土地上只有一半能够用来从事农业

或者林业的种植;(2)植物的光合作用只算5%的效率,即只有5%变成碳水化合物。这样算下来,我国12亿人口,平均每人每年也有五吨以上的农林产品 这就是说,我国农业的发展潜力是很大的。

其次,钱老分析了我国农业目前的状况,指出它并没有充分利用太阳提供的巨大能量。比如农产品,粮食作物,只有一半供食用,还有一半如秸秆、稻草不能用,浪费太大。因此他提出解决的办法在于创建知识密集型农业,"比如说,把植物的梗秸、草、树叶子加工成综合饲料。饲料可以喂牲口;牛粪可以种蘑菇,又可以养蚯蚓。加工成的综合饲料又可以放到池塘里去养鱼,且是多层的养鱼,一层一层地形成一个高效能的生态。"[2] 其中各个环节及其相互联系都需要现代科学技术知识和现代科学技术手段

再次,在耕地少、人口多、经济不发达的情况下,为了迎接新产业革命的挑战,出路在于建立知识型农业。这里把钱老关于知识型农业的思想、内容与发展前景概述如下:

思想:利用现代科学技术知识(包括对地球表层的系统认识),利用信息革命成果(包括系统管理的最新成果),利用新材料、新工艺,建立知识型农业。

内容:(1)按人类在地球表层开展经济活动的空间资源,把大农业分为农业、林业、草业、海业和沙业五大类;(2)按农业产业活动的基本特点(利用光合作用固定太阳能),并按农业生态系统良性循环的要求,发展多种经营,"不是农林牧副渔五业并举,而是十业并举:农、林、牧(养家畜)、禽、渔、虫(蜜蜂、蚯蚓)、菌(蘑菇)、微生物(沼气菌、单细胞蛋白这些东西)、副、工(加工业)等十业。"[2]

前景:按照建立知识型农业的发展道路,农村与城市同时建设,农业与工业协调发展,"农村的生产要变成一个高度知识密集

的、技术密集的、高效能的大农业,综合农业体系。"[2]这将大大消除工农差别,城乡差别。这种知识型农业是未来大农业的新构架,它依靠人工能源、不受气象限制,可常年在工厂大规模生产,节土、节水,不污染环境,资源可循环利用,是我国农业改革中切实可行的路子;他预言,以知识型农业的兴起为标志的第六次产业革命,将在中国的大地兴起。

中国农学会对我国农业现代化建设的战略思想,曾经做出如下的表述,即:"农业现代化的实质是科学化,特征是商品化,方向是集约化和高效化,关键是知识化。"显然,钱老提出的知识型农业与之不谋而合,因为知识型农业就是科学化、集约化、高效化、知识化的农业,它是实现中国农业现代化战略思想的战略措施。

(四)新产业必将带来产业结构的大升级、大换代

当前这场新产业革命突破了原来的产业结构,出现了第四产业,引发世界经济结构的大调整。关于什么是第四产业的问题,在国外流行如下的分析:

从20世纪40年代开始,由于电子计算机的发明,一门以计算机工业为基础的信息业,在发达国家、首先是在美国一日千里地发展起来,它改变了国民经济的产业结构:从工业时代的三次产业"农业—工业—服务业",转变为信息时代的四次产业"农业—工业—信息业—服务业",因而经济学界都把信息业称为第四产业。随着信息技术与通信技术的发展,信息业的发展经历了以下的历程:

20世纪60年代初,美国经济学家马克卢普在《知识产业》(1962年)一书中,首次分析了知识的生产和分配在美国国民生产总值中所占的比例。马克卢普所说的知识产业包括教育、研究与发展、通讯媒介、信息机器、信息服务等,它们一般被称为信息业。

70年代,微型计算机开发成功,计算机市场从专家扩大到公众,信息业以更快的速度发展,美国经济学家波拉特在《信息经济学》(1977年)一书中,进一步阐明了信息活动在美国经济中所处的地位,并把美国的经济结构分为如下的六大部门:

第一信息部门。它包括一切为市场制造信息机器或出售信息服务的产业。属于这一部门的有电子计算机制造、电信、印刷、大众传播媒介、广告宣传、会计工作和教育等;

第二信息部门。它包括大部分政府公共部门以及一切私人企业的管理部门。它担负拟定计划、做出决策、传递信息等功能;

民间管理部门。这是在非信息企业中从事纯粹信息活动的部门,它发挥类似政府部门的信息功能;

公共制造部门。这是联邦政府、州政府、地方政府的部门,它们单独从事制造非信息的公用设施,如高速公路的建设、水坝建设、运输服务、卫星服务、海军维持、野生生物保护和国家公园的管理等;

民间制造部门。它包括信息产品或信息服务以外的一切市场活动,包括农业、矿业、运输业以及大部分建筑业、制造业;

家庭经济部门。它供应其他五个经济部门所使用的全部劳动力。

1982年奈斯比特在《大趋势》中,通过调查研究指出,美国1981年从事信息方面工作的人,已经超过60%。另外还有许多人在制造厂商公司里从事信息工作。据此他认为,美国社会发生了从工业社会向信息社会的转变。信息社会是一个以创造和分配信息为基础的经济社会。

在信息革命浪潮冲击下,1984年邓小平同志就作出了"开发信息资源,服务四化建设"的重要指示;江泽民同志多次指出:"实

现四个现代化，哪一化也离不开信息化。"我国从1993年建"三金"工程（金卡、金税、金关）以来，信息业飞速发展；1995年党的十四届五中全会明确提出，加快国民经济信息化进程。据有关统计，至1999年底，个人计算机的拥有量达1200万台，互联网上网人数达1000万。目前我国主要有四大计算机网络：中国公众互联网（CHINANET）、中国教育科研网（CERNET）、吉通通信有限责任公司的金桥网（China GBN）和中国科技网（CSTNet）。

2000年8月，江泽民同志在世界计算机大会上指出：我们工业化的任务尚未完成，现在又面临实现信息化的艰巨任务。必须提出新世纪的发展战略，这就是："以信息化带动工业化，发挥后发优势，努力实现技术的跨越式发展。"

钱老发展了"科学技术是第一生产力"的观点，对国外所谓的"第四产业"提出不同的看法。他认为，新技术革命条件下出现的第四产业，不能单纯指信息业，而应该是以整个现代科学技术为基础的产业，可称之为科学技术业；同信息业相比，科学技术业的范围更广，内涵更深，影响更大。因为从现代科学技术体系来看，信息科学技术只是现代科学技术中的一个门类，信息产业只是科学技术业中的一门产业；随着科学技术的发展，随着经济社会的进步，其他知识密集型产业将陆续涌现。钱老预言，由于生物科学技术的发展，以现代科学技术为基础的农业（即知识型农业）必将在中国大地出现，它将极大地推动我国农业现代化的进程。据此他向党中央建议：必须把科学技术业作为一门带头产业来发展，把"建立我国的一种第四产业——科学技术业，作为今天的一项重大的战略决策。"[3] 并提出与发展科学技术业相应的措施。

发展科学技术业的一个重大问题是：如何把科研成果转化为现实生产力？钱老认为，首先需要解决组织管理问题。他根据社

会主义社会的组织性强，根据他参加国防工业组织领导的经验，按照“科学—技术—应用”三个层次，提出建立如下的组织：

(1)第一层次。建立国家的科学技术业垄断公司，属国家所有，享受国家大、中型企业的政策待遇。它的任务是协调全国的科学技术工作，并把全国科研机构的成果组织起来；

(2)第二层次。建立各种科技专业开发公司，它在一个方面或一个领域负责组织全国的科技发展工作，通过合同手段协调某一方面或某一领域的发展；同时进行招标、签订合同，按竞争的原则办事；

(3)第三层次。建立各种综合系统设计中心，它根据工厂的需要吸取可用的成果，将一项项单个成果综合设计成生产体系，并负责培训工厂的技术人员和工人。它的任务是出成果，出新技术、技术专利。这些成果不仅面向国内，而且面向国际。

(五)新产业革命要求培养一类特殊的、新型的科学技术人才——科技帅才

当前这场新产业革命给工业时代科技人才的培养方式带来了新的变化。交叉科学时代的新产业革命要求一类新型的科技人才——科技帅才，他们在实施“科教兴国”、“可持续发展”与“西部大开发”三大战略中将发挥特殊的作用。在“科学—技术—生产—社会”一体化的进程日益加快的新形势下，科技帅才的培养成为发展科学技术、发展生产力头等重要的大事。

关于科技人才的培养有一个历史过程，在西方，18世纪末法国建立了规模最大的多科技术学院，开近代科学技术教育的先河。美国1824年开办了最早的一所工科大学——伦塞勒工艺学院；1870年威斯康星大学第一个设立了工学院，下设土木、机械、矿山

采矿、金属等学科。这都是在工业时代适应当时发展工业技术的要求建立起来的。

钱老根据他在美国学习理工科的经历，结合现代科学技术发展的情况，指出美国培养科技人才的教育思想与教育体制的演变过程：

(1)从19世纪70年代起，麻州理工学院培养工程师实行四年制。前两年学基础科学理论，包括物理、化学等；后两年学专业技术，毕业时作毕业设计。这样的工程师具有基础理论知识，能适应科学技术新的发展并能创造性地工作。这套教育体制流行于全世界。

(2)20世纪30年代，由于科学技术发展迅速，麻州理工学院培养出来的人很难适应新的社会需求。德国哥廷根大学早在20世纪初就进行了改革，它开创了应用力学专业，将基础理论与工程应用联系起来，加强基础理论的学习。加州理工学院发展完善了它原来的教育体制；加强基础理论教育，减少工程课程，而且将学制延长到七年，这样培养出来的学生，基础知识扎实，各种新的发展都能跟上。第二次世界大战以后，这一教育思想已被普遍接受。

(3)20世纪90年代，科学技术发展的情况发生了很大的变化，现代科学技术高度分化又高度综合，我们正处在交叉科学的时代。在这种情况下，钱老认为，必须从系统的观点来看问题。科技帅才作为科学技术业的领导者、组织者，必须对这门事业的发展有整体的、动态的观点，并且要有控制能力。麻州与加州理工学院培养单科人才的教育制度与教育方法显然不能适应这一要求。因此，他向中央领导建议，为了迎接交叉科学时代的挑战，发展科学技术业，必须培养这类特殊的人才——科技帅才。钱老认为，“所谓科技帅才，就不只是一个方面的专家，他要全面指挥，就必须有

广博的知识,而且要能敏锐地看到未来的发展."[3] 这是全面落实科学技术是第一生产力的重要环节,是新时代的新问题

关于如何培养科技帅才,使他们对科学技术业有远见、有创造性和全面的指挥能力,钱老认为,必须努力学习以下几个方面的内容:

(1)要学习马克思主义哲学。因为马克思主义哲学是人类智慧的结晶,是科学的世界观与方法论,是分析问题与解决问题的思想武器。

(2)要了解整个科学技术的发展动向。因为现代科学技术已经形成一个相当完整的、不断发展的、开放的体系:从认识过程看是四个层次,从目前的情况看可以概括为十一大门类。对科学技术必须有整体的观点和发展的观点,才能发现新动向,提出新问题,组织人去研究。

(3)要学习世界发展的新知识。当代世界各种矛盾与冲突层出不穷,局部战争、政治事件与经济动荡接二连三,如海湾战争、金融危机、科索沃战争,等等,要了解它们的起因、历史、发展趋向、事态后果,等等,以便及时作出对策,迎接世界的挑战。

(4)要学习军事科学知识,包括组织管理方面的知识和才能。在国际竞争激烈的时代,霸权主义国家除了采用经济手段压榨与制裁外,最终总是要动用军事力量来迫使他国就范。要打仗就要学习军事科学知识。

(5)学点文学艺术。它可以培养人从另一角度看问题,避免钻牛角尖,避免机械唯物论。科学的逻辑思维与文学艺术的形象思维的结合,是创造力、智力的关键所在。古往今来许多有名的科学家、思想家和革新家都有很高的文艺修养

当然,科技帅才还要有健康的身体,健康的身体是一切活动的

物质基础,不容有丝毫的忽视

参 考 文 献

1 《马克思恩格斯全集》,人民出版社,1971,第2卷,第296、278页;第20卷,第652、30页。
2 中央组织部、劳动人事部、国家科委等六单位主办:《迎接新的技术革命——新技术革命知识讲座》(上册),湖南科学技术出版社,1984,第7、10、8—9、5、12、13、14页。
3 中央组织部、中央宣传部、中国科协等五单位联合举办:《九十年代科技发展与中国现代化》,湖南科学技术出版社,1991,第6、7、9、19、22—23页。
4 钱学森著:《人体科学与现代科技发展纵横观》,人民出版社,1996年,第129、130、131、132、476、430、121、428、200、93、201、272、273、180、367、427、428、156、159、202、190、192、160、148、382、170、411、409、200、201、202、192、160、148、382、170、434、421、420、419、421、420、428页。
5 钱学森等著:《论系统工程》,湖南科学技术出版社,1982,第160页。
6 许国志主编:《系统研究——祝贺钱学森同志85寿辰论文集》,浙江教育出版社,1996,第351、357、355、170、216、222—223页。
7 许国志主编:《系统科学》,上海科学技术教育出版社,2000,第15页。
8 彼德·德鲁克:《管理——任务、责任、实践》,中国社会科学出版社,1987。
9 赵光武主编:《思维科学研究》,中国人民大学出版社,1999,第599页。

第 13 章 钱学森论“大成智慧”

13.1 “大成智慧”学术思想的形成

20 世纪 50 年代，当时在美国的著名科学家钱学森，以其在应用力学领域的举世公认的杰出成就表明，中国人对人类科学的贡献又 -次超过了洋人。

钱学森是一位知识渊博、对科学技术的发展具有前瞻性的科学家；他以对科学技术发展前沿的敏锐、关注与投人，以及突出的创造性思维而闻名于国内外。

1955 年，他克服重重困难返回祖国后，对祖国“两弹 -星”的贡献，使他成为了中国家喻户晓的科学家。此后，这位科学大师又在许多科学领域深入研究，取得了 -系列的成果，做出了杰出的贡献。

本章主要是根据钱学森近些年来的著作、讲话、书信以及当面交谈等资料，在经过笔者对这些资料的长期研究与理解，以及亲身参与其中 -些科研工作的基础上完成的；主要介绍和讨论钱学森从 20 世纪 50 年代至今所形成的“集大成得智慧”或称之为“大成智慧”(Metasynthetic Wisdom) 的学术思想。

我国的传统文化中有“集大成”之说法，也就是说，把 -个非常复杂的事物的各个方面综合起来，集其“大成”；而钱学森的大成智慧则在此基础上，把人的思维、思维的成果，人的知识、智慧及各种

资料和信息，用现代化的技术手段统统“集成”起来，钱学森将其称之为“大成智慧工程”。它的核心部分是“现代科学技术体系”以及“从定性到定量的综合集成研讨厅体系”；其目的是为了处理与解决“开放的复杂巨系统”这类人类所面临的复杂问题；只靠“还原论”，只靠以往所形成的科技部门的知识是不够的；需要从整体上考虑。为此，钱学森花费了多年的心血，突破了以往对科学技术部门认识的局限性，建立了现代科学技术体系结构；用现代科学技术体系中的各种知识及其相互间的联系（这是知识的源泉），以信息技术为支撑，以人、机结合的方法解决开放的复杂巨系统问题。这实际上是把马克思主义的认识论与现代系统工程方法结合起来了，是“方法论”上的一个大飞跃。

将“大成智慧工程”进一步发展，在理论上提炼成一门学问，就是“大成智慧学”。实际上，这是对马克思主义哲学的发展与深化做出的重要贡献！

大家知道，一种重要的学术思想的出现对后人的影响，往往超过多项具体工作的贡献。以下简要地说明“大成智慧”学术思想形成的主要线索。

1954年钱学森的英文专著《工程控制论》在美国出版。第二年，在返回祖国前夕，他向恩师冯·卡门（Von Kármán）告别时，呈上《工程控制论》一书及《物理力学讲义》等请导师指正。这位国际著名的应用力学大师的回答是“你在学术上超过了我！”就这样一句话，分量重千斤啊！它正是对钱学森在美国20年间科研工作的最高评价！《工程控制论》这部巨著在他回国后获得了1956年“中科院自然科学一等奖”。该著作表明，钱学森所从事的科研领域已经大大超出了应用力学的范畴。

1978年，他与合作者在《文汇报》上发表了《组织管理的技术

——系统工程》。后来"系统工程"在中国成为各级领导最常"使用"的名词。这篇文章被誉为是"系统科学"在中国发展过程中的"第一个里程碑"。

1979年，他与合作者发表了《论军事系统工程》，从而形成了现代科学技术体系中军事科学的工程技术层次。

20世纪80年代，钱学森高瞻远瞩，提出了几个新的"科学部门"并以"系统论"(整体论与还原论的辩证统一)的观点构建"现代科学技术体系"。另外，他还在北京组织了三个讨论班："系统学讨论班"、"人体科学讨论班"以及"思维科学讨论班"。钱学森都亲自参加每个班的讨论，每当听完别人的报告他还作系统的发言，发表自己的看法和见解。与此同时，他还发表了大量开创性、前瞻性的文章。可见此时钱学森的"系统科学"的思想、科学技术体系的思想、人体科学的思想以及思维科学的思想均得到了充分发展，理论体系逐渐成熟。

1990年，钱学森与合作者发表了《一个新的科学领域——开放的复杂巨系统及其方法论》，该文将80年代初期作者对处理复杂系统所概括的"经验和专家判断力相结合的半经验半理论的方法"进一步地加以提高并加以系统化，提炼出"开放的复杂巨系统"的概念，以及处理这类系统的方法论，即"从定性到定量的综合集成方法。""从定性到定量综合集成技术，实际上是思维科学的一项应用技术。"[1]

1992年，在"从定性到定量综合集成法"的基础上，钱学森汇总了几十年来世界学术界开展讨论的Seminar、C^3I工作及作战模拟、人工智能、灵境技术(Virtual Reality)、人机结合的智能系统及系统学等方面的经验，提出"从定性到定量综合集成研讨厅体系"(Hall for Workshop of Metasynthetic Engineering)。这是把专家们和知

识库信息系统、各种人工智能系统、每秒几十亿次的巨型机等组织起来的“人、机结合智能系统”。“从定性到定量综合集成研讨厅体系”是21世纪实现民主集中制的“工作厅”，是辩证思维的体现。[2]

“从定性到定量综合集成法”、“从定性到定量综合集成研讨厅体系”及“现代科学技术体系结构”是“大成智慧工程”(Metasynthetic Engineering)的核心所在。综合集成法与研讨厅体系的理论依据是：(1)《实践论》，认识源于人的实践，先有感性认识，然后加工综合上升到理性认识；(2)思维学；(3)社会思维学，集体思维，互相促进；(4)系统学，对象常常是复杂的；(5)现代科学技术体系。

信息技术是“综合集成法”与“研讨厅体系”的技术依托。

“大成智慧工程”更高的层次是“大成智慧学”。下面我们从“工程控制论”开始，自上向下(top-down)发展形成“大成智慧”学术思想的过程与来龙去脉，用图表13—1加以描述，以便于读者能更清楚地了解。

13.2　提高“思维能力”的途径

人类，尤其是在现代社会中，面临着的四大基本问题是：物质的本质，宇宙的起源，生命的本质及智能的涌现。长期以来国内外的科学家们一直在锲而不舍地从不同角度与不同途径来研究这些问题。这里所说的智能的涌现，英文为“emergence of intelligence”。“intelligence”一词在大陆译为“智能”，在台湾译为“智慧”，要给出一个确切的和中、外均能接受的定义是很不容易的。但从古至今，人们对“智慧”和与之有紧密联系的“思维”以及与之有关的问题都进行过研究或正在研究；因为提高人的“智慧”或提高人的“思维能力”对人类是至关重要的大事。

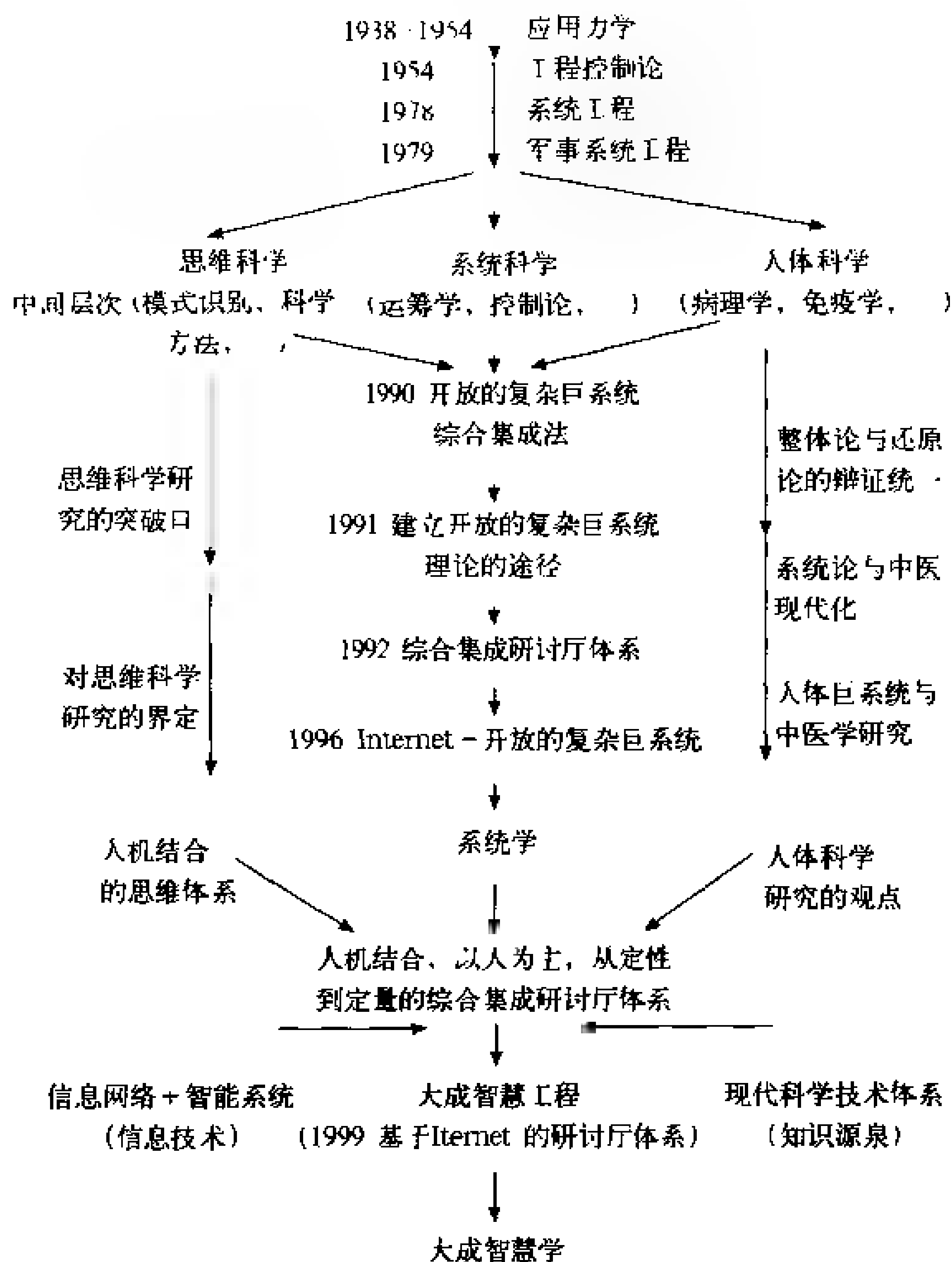

1938–1954 应用力学
1954 工程控制论
1978 系统工程
1979 军事系统工程
思维科学
中间层次（模式识别、科学方法，）
系统科学
（运筹学，控制论，）
人体科学
（病理学，免疫学，）
1990 开放的复杂巨系统
综合集成法
思维科学研究的突破口
整体论与还原论的辩证统一
1991 建立开放的复杂巨系统理论的途径
系统论与中医现代化
1992 综合集成研讨厅体系
对思维科学研究的界定
人体巨系统与中医学研究
1996 Internet－开放的复杂巨系统
人机结合的思维体系
系统学
人体科学研究的观点
人机结合、以人为主，从定性到定量的综合集成研讨厅体系
信息网络＋智能系统
（信息技术）
大成智慧工程
（1999 基于Iternet 的研讨厅体系）
现代科学技术体系
（知识源泉）
大成智慧学

图 13—1

20世纪中期,由于电子数字计算机的问世,信息技术得到了突飞猛进的发展;信息的存储、传输、处理及应用等成为大家十分关注的问题。人们开始并已经认识到,数字计算机是一个处理信息的装置,而人脑从某一方面来说也可以看做是一个信息处理的系统;这一认识的提高对基础科学的研究与发展是一个飞跃。1956年,美国的一批科学家在Dartmouth会议上有了共识并提出了一个新的学科“人工智能”,也就是利用计算机来模拟和实现人脑的部分功能。由于计算机科学发展的突飞猛进,到了80年代,第五代计算机、高性能计算机、智能计算机的研究计划纷纷出台,人们对人工智能的研究达到高潮。

正值此时,欣逢我国改革开放的大好形势,我国著名科学家钱学森的科学思想极其活跃。

他认为:“现代科学是一个完整的系统,或者是一个完整的体系。要有一个完整的认识。”“西方与东方科学思想的结合是奥妙无穷的。我们要的是西方与东方科学思想的结合。”“我们所提倡的系统论,既不是整体论,也非还原论,而是整体论与还原论的辩证统一。”[3]。这段时期,钱学森发表了大量开创性的、前瞻性的重要文章,如:1980年《哲学研究》第4期的《自然辩证法,思维科学和人的潜力》,1981年《自然杂志》第1期的《系统科学、思维科学和人体科学》,1983年《自然杂志》第8期的《关于思维科学》等。他高瞻远瞩,提出了几个新的“科学部门”,并以系统论的观点构建“现代科学技术体系”。可见他的系统科学的思想,科学技术体系的思想,人体科学思想以及思维科学思想,均得到了充分发展,理论体系逐渐成熟。由于他在美国加州理工学院时期深深体会到科学民主的重要意义,并深深得益于“讨论班”(seminar)的学术活动方式,80年代初,钱学森在北京组织了三个讨论班:系统学讨论

班、人体科学讨论班以及思维科学讨论班。他总是亲自参加讨论，每次听完别人的报告后还作系统的发言，发表自己的看法和见解。"人体科学讨论班"从 1983 年至 1987 年长达 4 年之久；"系统学讨论班"的时间更长；"思维科学讨论班"的活动时间相对较短

1986 年国家"863 计划"的信息领域中设立了"智能计算机"主题项目，在此之前钱学森提出创建"思维科学"的主张；他认为，人工智能和智能计算机的基础是"思维科学"。当前思维科学研究的突破口在于"形象思维"研究的突破；思维科学的任务是"从思维的角度找出思维能力发展的途径"。在 1992 年 3 月 23 日的一封信中，钱学森对此做了如下论述：

"人脑的思维能力是不断发展的：

1. 人类的历史含有此意；

2. 一个人的思维能力也如此。

那么它又是怎样发展的呢？第一是人脑这个开放的复杂巨系统有很强的可塑性，是活的，不是死的、不变的；第二加实践的作用。K. Popper 有三个世界说：第一世界是我们所说的不以人的意志为转移的客观世界；第二世界是主观世界，即脑；第三世界是人类实践经验累积的知识信息世界，这当然是前人和他人实践的创造物。因此，我想人的思维能力是第一世界与第二世界和第三世界相互作用的成果。

这样，研究脑科学的任务就是搞清这种思维能力发展的机理、机制，是精神学 mentalias 的核心。而思维科学的任务就是从思维的角度找出思维能力发展的途径并付诸实施。"[4]

在讲此番话之前不久，钱学森已经以"系统论"的观点，提出"从定性到定量综合集成法"（metasynthesis），并把这项技术与《实践论》结合起来，阐明了这项技术是在现代科学技术条件下对《实

践论》的具体化。紧接着他又汇总了几十年来世界学术讨论的seminar、C^3I及作战模拟、人工智能、灵境技术(virtual reality)和"人机结合"的智能系统、系统学等方面成功的经验,进一步提出我们的目标应该是建成一个"从定性到定量综合集成研讨厅体系"。其构思是把人集成于系统之中,采取"人、机结合"、以人为主的技术路线;这样才能充分发挥人的作用,使"研讨厅"的集体在讨论问题时成员间能够互相启发,互相激励,使集体的创见远远胜过一个人的智慧。通过研讨厅体系,还可以把今天世界上千百万人的聪明智慧和古人的智慧(这种智慧可以通过书本上的记载等,以知识工程中的专家系统体现出来)统统综合集成起来,以得出完备的思想和结论;这样就给予了科学与经验相结合的"从定性到定量综合集成的方法论"以科学的现代表达形式。

前面已经谈到思维科学的任务是从思维的角度找出思维能力发展的途径并付诸实施。钱学森通过他本人的研究,从总结20世纪40年代以来信息技术发展给人类带来前所未有的巨大影响;从科学是一个整体的观点构建了现代科学技术体系;从研究系统科学、人体科学、思维科学等新兴科学本身及与其他科学领域的交叉发展与整合;从培养21世纪新人考虑;从而形成了"大成智慧"学术思想,找到了思维能力发展的途径,并付诸实施。

13.3 信息网络建设与"第五次产业革命"

邓小平关于"科学技术是第一生产力"的论点,是一个非常重要的观点。依据这种唯物史观,钱学森认为:科学革命是人类认识客观世界的飞跃,技术革命是人类改造客观世界的飞跃;而科学革命、技术革命又会引起社会整个物质资料生产的变革,即经济的社

会形态的变革,这就是产业革命。早在1979年他在为《工程控制论》(增订版)所写的序中,以"现代化、技术革命与控制论"为题目,着重论述了对现代生产和现代科学技术的面貌发生深远影响的三项技术革命:(1)核能技术革命;(2)电子计算机技术革命;(3)航天技术革命。对于其中的第二项技术革命,他作了这样的表达:

"蒸汽机和电力实现了生产过程的机械化,而监督与调整生产过程的工作仍需人工来完成。工人要不断照料机器的动作,用眼、耳和神经系统来直接获取生产过程的信息,然后由大脑对这些信息进行处理,作出要不要改变机器运行状况的决定,并通过手对机器的直接调整来执行这一决定。本世纪初以来,产生了能对各种物理量进行精确测量的感受器件,也产生了各种执行机构。获取机器生产状况的信息的工作,就由感受器件取代了人的器官;控制决定的执行,由执行机构取代了手对机器的直接调整。但是,控制决定还得由人直接作出,整个生产过程还需人的直接参与。这样一种状况影响着生产率进一步发展。对一些日益精密化、快速化的现代工业过程(如化学工程过程),人工控制已完全不能胜任,因为在这种情况下人的思维在速度、可靠性和耐力方面都显得不够。50年代出现了模拟式自动控制设备,在一些不太复杂的生产过程中实现了自动控制。但是,这种设备一般不能用于复杂的现代化工业过程,不能进行数据处理,也不能用于整个工厂或车间的全盘自动化。电子计算机的出现并应用于工业生产,才使自动控制技术产生了革命。第一,电子数字计算机具有计算精确的特点,和数字化感受器件、数字化执行机构结合,能够实现工业生产过程的精密控制;第二,电子数字计算机具有很大的计算能力,可以根据生产过程运行状况的改变而自动改变调节参数;可以计算出生产过程的发展趋势,以便决定应当预先调整哪些操作条件。所以计算

机能够对复杂的工业生产过程实现自动控制;第二,计算机不仅能对生产过程进行最优控制,而且能对包括感受器件、执行机构和计算机本身在内的全部生产设备进行监督控制。所以计算机能够实现整个企业和企业体系生产过程的全盘自动化。

关于过程的信息,是调节与控制这个过程的手段。人和人需要交换信息,人和机器也需要交换信息,任何社会实践过程都需要处理信息。人处理信息的能力,直接影响着他调节与控制事物的能力。电子计算机作为最具普遍意义的信息自动化处理设备,除了用于生产过程的数字自动化控制外,还广泛用于军事技术、科学研究、天气预报、交通运输、组织管理、信息管理、财政贸易和日常生活等领域,并成为现代化社会一种最富有代表性的装备。”

“1944年那一台名叫MARK-1的大型继电器式计算机,1945年宾夕法尼亚大学那台采用电子管代替继电器的ENIAC电子计算机,都出现在控制论完全形成之前。但是,用替续的开关装置和用二进制作为电子计算机设计的最合适基础,完全是受惠于从1942年前后开始的控制论思想的发展:人的神经系统在做计算工作时,作为计算元件的神经元或神经细胞,实质上可以看做只具有两种动作状态的替续器。工程控制论出现以后,已日益深刻地被应用于指导电子计算机的设计。例如,能够记住主题并把以后接受的信息同这个主题联系起来的智能终端,能够识别语言波形、完全按照声音来操作的计算机,能够直接把图象转变为数字信息存储、处理的计算机,以及具有一定自学习、自组织功能的以电子计算机为心脏的机器智能等等,都是按照控制论原理来革新电子计算机体系结构的一些新发展。工程控制论正在推动电子计算机技术革命的深入。这样一个现实已经来到了人类的面前:由电子计算机和机器智能装备起来的人,已经成为更有作为、更高超的

人！”[5]

关于产业革命，钱学森对人类生产发展的历史作了扼要概括，并适时地提出了“第五次产业革命”：

在上古时代，当人们还是靠采集和狩猎为生时，是谈不上物质资料生产的，因而也就不存在什么“产业”。从这个意义上说，第一次产业革命大约发生在1万年前的新石器时代，即农牧业的出现。第二次产业革命是开始出现商品经济，即人们不再单纯为个人的生存、个人享用而生产，而是开始为交换而生产。这在中国，出现于奴隶社会后期，即公元前约一千年。第三次产业革命是18世纪末由于蒸汽机的出现，产生了大工业生产。第四次产业革命出现在19世纪末，即生产不再是以一个一个的工厂为单位，而是出现了跨全行业的垄断公司。第五次产业革命即目前正在发生的由信息革命所推动的经济的社会形态的巨变，全世界将逐渐构成一个整体来组织生产，出现世界一体化的生产体系。

当前人类正面临着由信息革命推动的第五次产业革命。从第一次到第四次产业革命，划分社会生产时代具有决定意义的特征，可以说是劳动资料的机械的、物理的和化学的属性。信息革命的核心是信息性的劳动资料，如能处理任何离散形式信息的可编程数字计算机。目前又出现了纳米技术（Nanotechnology，即10^{-9}米分子尺度的技术）。数字计算机一直是建立在微电子学基础之上的，而纳米技术的发展则使数字计算机建立在分子电子学基础之上。1993年美国政府提出“国家信息基础设施（NII）计划”，即人们易于接受而且经常谈到的“信息高速公路”计划后，国内外十分关注信息网络的建设；通过信息网络的建设，人们可以在极短的时间内与极远的地方进行联系，也是20世纪最伟大的通信奇迹的一部分，正在发展的宽频带综合业务数字网络（BISDN），使信息传输在

数量与质量方面均有大幅度的提高，并很可能在21世纪初取代传统的电话网络，单个电话机、电视机和计算机的数量将不再大幅度增长；将由集三种功能为一体的多媒体信息装置所取代。

人类是通过多种感官来接受外界信息的。按照人类的习惯，提供各个感官所能接受的多种属性的信息，如通过磁带、磁盘、光盘等信息存储体，通过电话、电传、电视等信息传输设备，通过高性能计算机等信息加工装置向人类提供声、图、文集成在一起的并能和人类发生动态交互作用的信息，这就是近年来正在飞速发展的多媒体(multimedia)和灵境技术。多媒体技术(multimedia technology)，就是能对多种载体(媒质)上的信息和多种存储体(媒质)上的信息进行处理的技术。所谓承载信息的载体，即信息的存在形式和表现形式，如数字、文字、声音、图形、图像等。存储信息的存储体，是指用以存储信息的实体，如磁带、磁盘、光盘等。应用多媒体技术能够处理存储在多种存储体上的，由数字、文字、声音、图像和图形等多种形式所表示的信息。多媒体技术是目前正在发展的灵境系统的关键技术之一。在灵境中，人和环境间的交互作用将得到更全面、更深入的体现。

钱学森一直对信息技术在我国的发展极为关心。1995年6月29日他写信给他的同事们，对信息网络有关问题发表了自己如下的看法：

"1. 现在我国也在开始信息网络建设，这是第五次产业革命的先声。

2. 但大家似尚未意识到信息网络加用户将构成一个"开放的复杂巨系统"，不是简单巨系统，更不是大系统、小系统等容易调控的系统。

3. 我前见英刊《New Scientist》中就有文论及新加坡政府原来

热衷于进入全球信息网络,以促进其经济发展,现在也察觉到这会引起许多难以调控的问题,所以政府决定放慢此过程,要研究对策和措施。

4. 您6位可否再次合作写一篇要上报刊的文章?指出信息网络及用户是一个开放的复杂巨系统,对世界社会开放,是人造的 我们必须用系统学与开放的复杂巨系统理论来研究制定宏观调控的方案。在一个开放的复杂巨系统出现前就考虑其调控手段,这在历史上还是第一次吧!定会引起大家对开放的复杂巨系统的注意。"[2]

以上这些思想的前瞻性,在历史的发展过程中被证实了。一个时期以来,国内从事信息网络的一些专家们对上述思想有了较深刻的认识,以万维网(World Wide Web)所呈现出来的自组织等性质为例,对互联网(Internet)加用户是"一个开放的复杂巨系统"作了科学的论述;另外对用"系统学"与"开放的复杂巨系统"的理论对网络进行宏观调控的看法已受到有关方面的重视。

钱学森认为,21世纪的人类必将在信息的汪洋大海中航行。人们的思维工作方法应该有一个飞跃,才能适应信息时代的要求。因此,总体规划我国第五次产业革命的思维工作方法成为必须解决的重要课题。80年代初他曾经对处理"复杂系统"的定量方法学作了精辟的概括,提出将科学理论、经验和专家判断力相结合的半经验半理论的方法。此后他又提出"从定性到定量综合集成研讨厅"体系可以看成是总体规划第五次产业革命思维工作方法的"核心",它实际上是将我国民主集中制的原则运用于现代科学技术方法论之中,并寻求科学与经验相结合的解答。这样的研讨厅体系将是思维方法上的一次重大的变革。

13.4　大成智慧工程

钱学森在美国期间(1935—1955),从在加州理工学院(CIT)读研究生开始到成为麻省理工学院(MIT)最年轻的教授以及加州理工学院的教授,是以应用力学的研究而举世闻名的。回国前的1954年,在美国出版了专著《工程控制论》的英文版;紧接着,俄文版(1956)、德文版(1957)、中文版(1958)在相关国家相继出版。该书以其创新性、前瞻性而闻名,对培养我国新一代自动控制方面的专家起到了十分重要的作用,并在国际上获得极高的声誉;同时该书在50年代是自动控制领域中引用率最高的专著。2000年国际著名的自动控制理论专家Aström在他刚出版的一本新书中,一开始就引用了《工程控制论》"序言"中的一段话:"这门新科学的一个非常突出的特点就是完全不考虑能量、热量和效率等因素,可是在其他各门自然科学中这些因素都是十分重要的。控制论所讨论的主要问题是一个系统的各个不同部分之间的相互作用的定性性质以及整个系统的总的运动状态。"如果我们着眼于物理世界三个要素的分析:物质、能量和信息,那么控制论只研究信息与控制,它不讨论能量和物质。由此可以看出钱学森早在1955年已经把研究的"着眼点"转到"信息与控制"方面了;他在当时介绍自己在国外获得巨大成就的主要原因之一是他努力学习马克思主义哲学,并用以指导自己的科研。从1955年至今钱学森一直认为,我们的科学研究比外国人有一定优势。这种优势就是以马克思主义哲学作为指导。

《工程控制论》一书的问世,表明钱学森的科学研究工作已经超出了应用力学的范畴,而进入"系统科学"等20世纪一些新兴科

学的范畴了。他回到中国后，于1957年发表的《论技术科学》，提出了每个科学部门包括三个层次的论点，即基础层次、技术科学层次和工程技术层次三个层次；至于控制论是属于系统科学这一科学技术部门的中间层次，即技术科学层次。回国后，他一直致力于开创与推动“系统科学”有关的工作，自然这是顺理成章的事了。尤其是纵观钱学森近20余年的科学研究领域，毋庸置疑，他是一位名副其实的“科学大师”，把他称做“物理学家”，大概是人们仍然只了解他在美国时期工作的缘故。

1978年9月27日，钱学森与许国志、王寿云在上海《文汇报》上发表了题为《组织管理的技术——系统工程》一文。他与王寿云、柴本良合作完成了军事系统工程的文章，于1979年7月24日在中国人民解放军总部机关领导同志学习会上作了演讲，从而把系统工程用于军事领域，形成“军事系统工程”。

1987年6月，钱学森在北京作了“巨系统与人体科学研究”的演讲，阐述了人体科学的中心思想就是把人看成一个“巨系统”，而且这个“巨系统”是开放的，跟整个宇宙的环境是有密切关系的。我们说“巨系统”，不是只有整体论，整体论是非常重要的；但是我们说的“系统”概念是把“整体论”跟“还原论”结合起来，是辩证的统一。“巨系统”、“超巨系统”这些概念就是“整体论”跟“还原论”，也就是宏观和微观辩证统一起来看问题。恐怕一些高等的动物都是一个“巨系统”，甚至高等的植物也是一个“巨系统”。但是，研究生物不能解决整个人的问题；这里存在着一个很重要的区别，就是因为人有高度发展的大脑和神经系统，即“人”有意识。他多次引用过诺贝尔奖金获得者Sperry的话“意识是人脑的最高级活动，而这高级活动的意识又可以反作用于更低层次的活动”。他认为，为什么把人体科学划出来，而不划在生命科学里面？其原因是，人是

有意识的，人是在生命现象里头很特别的一种生命现象，因为人有意识，至于其他的生物，科学界还无定论。

1990年在《自然杂志》第1期发表的钱学森、于景元、戴汝为的重要文章《一个新的科学领域——开放的复杂巨系统及其方法论》，将作者80年代初对处理复杂系统所概括的“经验和专家判断力相结合的半经验半理论的方法”进一步地加以提高和系统化，提炼出“开放的复杂巨系统”的概念；并以系统论的观点，在社会系统、人体系统、人脑系统及地理系统实践的基础上，提出处理“开放的复杂巨系统”的方法论，即“从定性到定量的综合集成法”（Meta synthesis），并作了如下解释：

“综合定性认识达到对整体的定量认识”；“‘法’即技术工程，是综合集成工程”；“综合集成工程居思维科学的工程技术层次，创立并发展它将为思维科学的技术科学层次及基础科学层次（思维学）提供营养”；“所谓‘定性’的东西即现在各式各样的‘专家系统’，综合集成即靠人来综合这些‘专家系统’，也就是变成定量的、更完善的智能。”[2]

“从定性到定量综合集成法”，其实质是把各方面有关专家的知识及才能、各种类型的信息及数据与计算机的软、硬件三者有机地结合起来，构成一个系统。这个方法的成功之处就在于发挥这个系统的整体优势和综合优势，为综合使用信息提供了有效的手段。按我国传统的说法，把一个非常复杂的事物的各个方面综合起来，达到对整体的认识，称之为“集大成”。实际上，“从定性到定量的综合集成技术”，就是要把各种情报、资料、信息，把人的思维、思维的成果、人的经验、知识、智慧统统集成起来，因此可以称为“大成智慧工程”。

钱学森在提出“从定性到定量的综合集成法”的过程前后有一

个明确的观点:面对着开放的复杂巨系统,这类问题应采取的对策是"人-机结合"、以人为主的综合集成,需要把人的"心智"(human mind)与计算机的高性能两者结合起来。他总结了在思维科学与智能机有关问题的讨论过程中所得出的看法:"我不以为能造出没有人实时参与的智能计算机。所以奋斗目标不是中国智能计算机,而是人-机结合的智能计算机体系。"[2] 他借鉴我国哲学家熊十力把人的心智(human mind)概括为"性智"与"量智"两部分,对"人机结合"做了解释。我们可以这样理解:"性智"是一种从定性的、宏观的角度,对总的方面巧妙加以把握的智慧,与经验的积累、形象思维有密切的联系;人们通过认识世界、改造世界的活动、不成文的实践感受得以形成。"量智"是一种定量的、微观的分析、概括与推理的智慧,与严格的训练、逻辑思维有密切的联系;人们通过科学技术领域的实践与训练得以形成。"人-机结合"是以"人"为主,"机"不是代替"人",而是协助"人"。从信息处理的角度来考虑把人的"性智"与"量智"与计算机的"高性能"信息处理相结合,达到定性的(不精确的)与定量的(精确的)处理互相补充。目前人们清楚地认识到计算机能够对信息进行精确的处理,而且速度之快是惊人的,但它的不足之处是定性的(不精确)处理信息的能力却很差。尽管研究者将一系列近于定性处理信息的方法引入计算机系统中,企图完善其处理能力,但对于真正复杂的问题,计算机还是难以解决。与此相反,与计算机相比较,人处理精确信息能力是既慢又差,但是定性处理信息的能力是十分高明的。因此在解决复杂问题的过程中,能够形式化的工作尽量让计算机去完成,一些关键的、无法形式化的工作,则靠人的直接参与或间接的作用,这样构成"人、机结合"的系统。这种系统既体现了"心智"的关键作用,也发挥了计算机的特长。这样一来人们不仅能处理极为复杂

的问题，而且通过“从定性到定量综合集成”，达到“集智慧之大成”。

1992年，在“从定性到定量综合集成法”的基础上，钱学森针对如何完成思维科学的任务——“提高人的思维能力”，总结了几十年来世界学术讨论的seminar、C^3I工作及作战模拟、人工智能、灵境技术(virtual reality)、人机结合的智能系统及系统学等方面的经验，进一步提出我们的目标是建成一个“‘人、机结合’，以人为主，从定性到定量的综合集成研讨厅体系”，简称“从定性到定量的综合集成研讨厅”。这是专家们同计算机和信息资料情报系统一起工作的“厅”。这是把专家们和知识库信息系统、各种人工智能系统、每秒几十亿次的计算机、像作战指挥厅那样组织起来，成为巨型的“人、机结合”智能系统。“组织”二字代表了逻辑、理性，而专家们和各种“人工智能专家”系统代表了以实践经验为基础的非逻辑、非理性智能。所以这个“厅”是21世纪的民主集中制的“工作厅”，是辩证思维的体现。[2]

20世纪末，钱学森的学生们在其学术思想的指导下，提出的项目：“支持宏观经济的决策的从定性到定量综合集成体系”，已经得到国家自然科学基金委的大力支持，并于1999年6月开始实施。他们充分利用网络技术，致力于把“从定性到定量综合集成研讨厅”建立在Internet(互联网)的基础上，做到了研讨不受时间和空间的限制，使“研讨厅”实际上成为一个“赛博空间”(Cyberspace)。这样的“研讨厅”就如钱学森所说的，是利用我们的现代科学技术体系的思想，综合古今中外上万亿个人类头脑的智慧！利用综合集成法与研讨厅体系解决问题的工程，可以称之为“大成智慧工程”。将“大成智慧工程”进一步发展，在理论上提炼成一门学问，就是“大成智慧学”。“大成智慧学”也可以说是“聪明学”，是如

何使人获得知识与智慧,提高认识世界和改造世界的能力的学问。它与以往关于智慧或思维的学说的不同之处在于:“大成智慧学”是以马克思主义辩证唯物论为指导,利用信息网络及“研讨厅体系”,以“人-机结合”的方式,集古、今、中、外智慧之大成的学问。

13.5 知识的源泉——现代科学技术体系结构

钱学森以自己亲身参与美国应用力学发展的深刻体会,论述了技术科学的重大意义与作用:在任何一个时代,今天也好,明天也好,一千年以后也好,科学理论决不能把自然界完全包括进去,总有一些东西漏下了,是不属于当时的科学理论体系里的,总有些东西是不能从科学理论推演出来的。虽然自然科学是工程技术的基础,但它又不能完全包括工程技术。因此有科学基础的工程理论就不是自然科学的本身,也不是工程技术的本身,它是介乎自然科学与工程技术之间的,它也是两个不同部门的人们生活经验的总和、有组织的总和,是化合物,不是混合物。要综合自然科学和工程技术,要产生有科学依据的理论,需要另一种专业的人。由此看来,为了不断地改进生产方法,我们需要自然科学、技术科学和工程技术三个部门同时并进,在任何一个时代,这三个部门的分工都是必需的。

钱学森首先对自然科学与社会科学的历史发展进行了研究。历史发展的情况表明,大约在19世纪中叶,自然哲学陆续被自然科学所取代。人们一开始时对自然界的认识仅仅是片面的,很不完全;要认识客观世界,认识自然界,人们总是要把片面的各方面的东西联系起来,作为对自然客观世界的一个总的认识。人们在一开始时没有科学,实际上是神话、信仰。到后来慢慢地了解得多

了，对一些客观的现象有一些科学的解释，但整个联系不起来，为了能联系起来未免加上自己的猜想。那时把猜想与科学联系在一起的人大都是哲学家，他们把这种关于客观世界的科学叫做"自然哲学"。到了19世纪的中叶，出现了科学方面的三大突破，一是细胞学说，所有的生命都是由细胞这个基本单元组成的；二是能量转换，不管什么形式的能量都是互相转换的，能量是不灭的；三是达尔文的进化论，物种的起源为什么是千差万别的，是怎么来的，怎么演变的。由于三个科学方面的突破，人们那些猜想的联系已经可以被真正地科学地概括了实际情况的联系来代替。恩格斯说这时自然哲学就自然地让步了，被"自然科学"代替了，而且，从经验自然科学发展到理论自然科学的新阶段。

这段历史给人以启示：科学是从不科学的东西来的。我们都怀着很客观而敬重的心态来看待"自然科学也是从不那么科学的东西来的"。今天认为是不科学的东西，或不那么科学的东西，人们不要看不起它，将来可能是大科学的来源；这是很重要的。

前面谈到，自然科学、与自然科学占同等位置或者并行的还有社会科学，可以说是19世纪后期才真正开始的；因为研究社会在马克思、恩格斯以前是不科学的，也可以说是哲学思辨性质的，猜的、议论性质的。从历史上可以慢慢看科学的结构是怎样形成的。一是"自然哲学"变到"自然科学"，以后马克思、恩格斯才建立了科学的社会主义，然后又建立了社会科学。这些自然科学、社会科学与哲学的关系，说的是马克思主义哲学，就是辩证唯物主义的哲学，就是认识客观世界的最高科学的概括；这是我们对于客观世界通过认识形成的学问，这些学问比如说叫自然科学、社会科学，再概括起来，而且是科学的概括，那就是马克思主义哲学。

现代科学体系结构是钱学森从整体上对科学技术体系加以考

虑，突破了人们以往对科学技术部门认识的局限性。德国著名物理学家普朗克早就指出："科学是内在的整体，它被分解为单独的部门，不是取决于事物的本质，而是取决于人类认识能力的局限性。实际上存在着由物理到化学，通过生物学和人类学到社会科学的连续的链条，这是一个任何一处都不能被打断的链条，难道这仅仅是臆想吗？"（见第9章注7） 在此基础上，钱学森进一步有所创新，构建了一个开放的、不断充实、不断完善、至今包括11个科学技术部门的现代科学技术体系。

钱学森于80年代在中央党校讲课时，首次把原来人们心目中的"自然科学"和"社会科学"两大部门，扩展到八大部门，加上数学科学、系统科学、思维科学、人体科学、军事科学和文艺理论，形成了一个体系。过了几年又加上地理科学、行为科学。1996年6月又提出建筑科学的设想，在这过程中曾与建筑专家及城市规划专家谈过。总之，现代科学技术体系是基于各门科学研究的对象都是统一的物质世界的认识，区分只是研究的角度不同，这就从根本上拆除了以往各门学科之间仿佛永远不可逾越的中界，也必然使辩证唯物主义与各门科学内在地、紧密地熔铸在一起

这个体系从横向分为三大层：最高层是马克思主义哲学，马克思主义哲学、辩证唯物主义是人类一切知识的最高概括；从智慧形成的高度，以"性智"与"量智"来概括文艺活动与美学、各科技部门对人类的"宏观"与"微观"两种类型智慧的形成与影响；最下面一层是现代科学技术十一大部门，即自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学、人体科学、地理科学、军事科学、行为科学、建筑科学以及文艺理论与文艺创作；并分别通过11座"桥梁"：自然辩证法、唯物史观、数学哲学、系统论、认识论、人天观、地理哲学、军事哲学、人学、建筑哲学以及美学，把马克思主义哲学与十一大

科技部门联在一起

在每一大部门中,又分成"基础理论"、"技术科学"及"应用技术"三个层次。在十一大部门之外,还有未形成科学体系的实践经验的知识库,以及广泛的、大量成文或不成文的实际感受,如局部的经验、专家的判断、行家的手艺等等也都是人类对世界认识的珍宝,不可忽视,亦应逐步纳入体系。总之,这一分类法显示出这十一大部门之间本来就有的互相联系、互相促进、不可分割的关系,并揭示了马克思主义哲学与各门具体科学技术必然的、紧密的熔铸在一起的内在关系,形成统一完整的现代科学技术体系。以上所述的现代科学技术体系是钱学森近些年来心血与智慧的结晶,充分体现出他的"集大成"的智慧。

钱学森认为,要发展、深化马克思主义哲学,需要引入中国古代哲学的精华。这个精华就是人类的"性智",并根据自己的实践经验,从整体上来看世界。只从科学技术方面来讲人的智慧是不够的,还要看到智慧的另一个来源,即传统文化艺术。所以,他过去讲的科学技术体系的概念还要再扩大,变成智慧的体系,这就是哲学发展史上的第四次伟大尝试。

13.6 "人-机结合"出现"新人类"

如何提高人的智慧和能力的问题,有史以来一直为人们所关注,到了信息技术高度发展的20世纪,计算机与信息网络的出现,为人类智力的提高奠定了物质基础。与此密切相关的是关于思维规律的研究,包括逻辑思维,也包括其他各种思维过程,形象思维等等。1995年钱学森把他15年前倡导的思维科学研究重新作了界定。他以信息处理的观点阐明了思维科学的基础科学——思维

学包括三个部分：“逻辑思维，微观法；形象思维，宏观法；创造思维，微观与宏观结合。创造思维才是智慧的源泉，逻辑思维和形象思维都是手段。”[4]

人的聪明才智是通过实践、通过学习获得知识、包括经验知识，在脑子里有了大量的知识，再加以能利用所存贮的知识，就能够处理与解决各种问题。一个人通过学习获得知识，从小学到大学，进一步到研究生是一个十分漫长的过程。通过学习获得知识，把知识存在脑中以及对知识进行处理是一个重要的环节。自古至今，中外的人们都是走这一条路以培育自己的智慧的。过去由于缺乏工具，所以不得不花费很长的时间，通过学习增加知识，并记住所得到的知识。在今后的信息社会中，情况有了根本的改变；计算机的强大本领之一就是能存贮信息，包括存贮知识信息，并能以极快的速度处理信息，再加以目前的一些信息系统，例如用人工神经网络构成的信息系统，具有根据已有的样本，或者已有的经验进行学习的功能。总之通过智能系统，对人的成长来说，可以用机器来部分取代记忆与学习这两个重要的环节，使人类有可能改变以往成才的途径。

信息革命与现代科学技术体系的形成，将会以人机结合的思维体系取代原来的以个人为主的体系；人脑和计算机都是信息处理的工具，人脑通过经验积累与形象思维，擅长于不精确的、定性的把握，而计算机则以极快的速度，擅长准确的、定量的计算；两者充分发挥各自的优势，又互相结合，再加以综合集成法及从定性到定量的综合集成研讨厅体系在信息网络上实现，既能达到集智慧之大成，又由于通过反馈的作用，来提高人的思维效率，从而增强人的智慧。这是多么了不起的事！从人类的发展来看，“直接提高人的智慧”是人类有史以来的一种美好愿望，以往的历史阶段只是

近于梦想，经历信息革命后，这一愿望将会变成现实。

现在是信息时代，知识传播与教学的手段以及教学环境都是前所未有的，传统的教学方式已经被突破。如人们致力于数字图书馆、数字地球的研究开发工作。一张光盘可容纳一部大百科全书，存贮一年的报纸上的信息，图书馆的图书大都数字化了之后，发挥的作用也就更大了。通过互联网，在边远地区的人们也可以很方便地享受到北京图书馆的图书资料，甚至国外一些图书馆的书籍；由于计算机技术与网络技术的发展，电子报纸开始发行，将可能把纸张省去。与此同时，电子贸易等都将步入生活，在网络上进行交易，既扩大了市场容量，为大宗商品的流通提供了公平交易的机会，又可避免资金风险，真正做到了买不出户、卖不出户的商品交换。多媒体技术取得的成就使得计算机辅助教学变成十分生动活泼，数字化的图书馆与远程多媒体教学紧密的配合，可以使各地的学生都能听到全国最好的教师授课。这样，在教学目标、教学环境，以及教育的各个方面将突破传统教育的局限性。

钱学森十分重视对未来人才的培养，他提出了“大成智慧教育”的设想；其目标是通过理、工、文、艺的结合，培养熟悉科学技术体系，掌握马克思主义哲学，一方面有文化艺术修养，另一方面有科学技术知识(包括信息科学技术知识)，既有“性智”又有“量智”的，集诸多专业知识于一身的大智大勇的人才。这种人才具有良好的适应性技能，对信息、具体知识、资料与数据等有直接应用的能力；对各种知识、专家经验及思维等具有强有力的组织与综合能力，从而适应信息社会的需要。培养人才的方法是采用高新技术，特别是采用信息网络，把信息高速公路作为主要的手段。学术研究可以通过计算机网络系统获得大量的信息与知识。今后互联网(INTERNET)将成为人们生活、工作中离不开的工具，人们会变得

更加聪明。因为知识体系对人的意识起着积极的作用。在互联网上利用知识体系，也就是用语言（语言实际上是由一串符号表示）和符号表达的知识来提高人的意识；在网上还有不是用语言表示的图象、动画等等也能提高人的意识，并把意识提高到思维。近年来，心理学家们重新发掘出30年代被埋没的前苏联心理学家Lev Vygotsky的学说，该学说认为，语言在人的意识中起着中心的作用。人们可以在网络上利用语言来提高人的意识，进而提高人的思维能力。

如果逐步地把现代科学技术体系的建设，尽可能地置于互联网上，那就在一定程度上体现K.Popper所说人类实践累积的知识信息的第三世界。再加以利用综合集成法，以及以互联网为基础的人机结合的研讨厅体系，对信息、知识与智能三者加以处理。例如，利用综合集成法把大量信息加以集成，使之成为知识。目前从数据库里提炼出知识(KDD)的工作，已成为研究的热点之一，再从大量数据与知识之中，借助综合集成与研讨厅体系，通过三个世界间的交互作用，使“智慧”涌现出来。

我们可以预期，“人-机结合”的大成智慧的学术思想为人们所接受后，我国的教育系统必然会有所改变；如果在信息网络上建立起前一节所说的“现代科学技术体系”，其结果将使人类已掌握的与即将掌握的知识与技术能以极其灵活方便的方式为人类所共享；各式各样的智能系统将成为人类亲密而不可离开的工具；人的智慧得以充分发展，人类也跟着改造了。正如钱学森所说：将会出现一个“新人类”，不只是人，是“人-机结合”的“新人类”！

“大成智慧”是钱学森近20年来学术思想的新发展，是把作为知识源泉的“现代科学技术体系”看成是一个整体，建立了“现代科

学技术体系的结构”，并主张把人类创造的各种知识与人类的聪明才智结合起来，用“整体论”和“还原论”相结合的方法，以当代信息技术为支撑，去解决人类所面临的极其复杂的各种问题。

笔者结合自己多年来所参与的相关科研工作，力求正确理解和掌握钱学森在多个科研领域的观点和方法，要求自己准确表述先生的仍在不断发展的学术思想，然而这并非易事。在学习与介绍钱学森近年来学术成就的同时，更为钦佩与崇敬先生一生在科学领域的前沿不断进行“原始性”创新的精神！

> “一般公众的理解，钱老是一位杰出的科学家，但现在看来他不仅仅是一位杰出的科学家，而且是一位非常了不起的思想家。从科学史上看，大科学家变成大思想家的也不乏其例，但钱老又与他们有些不一样。他没有离开工程科学的本色，即他提出的思想很有操作性的；他不是光提出一个思想原则就算了，而且有一整套操作的技术，从思想方法一直到技术上的实施，有一整套的方法。”

笔者愿以《文汇报》记者姚诗煌、江世亮在2001年3月21日《文汇报》上发表的采访：《面向21世纪的系统科学与工程》中所表述的上述看法作为本章的结束。

参　考　文　献

1　钱学森：《再谈开放的复杂巨系统》，《模式识别与人工智能》，1991，4(1)，第1—4页。

2　王寿云、于景元、戴汝为等著：《开放的复杂巨系统》，浙江科学技术出版社，1996，第280～281、301、270和269、279—280页。

3　钱学森著：《人体科学与现代科技发展纵横观》，人民出版社，1996，第111、153、405页。

4 载赵光武主编:《思维科学研究》,中国人民大学出版社,1999,第605、V~Ⅵ页。

5 钱学森:《现代化、技术革命与控制论》,《工程控制论》(修订版),科学出版社,1980,序,第Ⅹ、Ⅺ~Ⅻ页

第 14 章　钱学森论科学与艺术

贺钱老九十寿辰

华夏英杰赤心献，
冲霄神火壮国魂。
九秩已建千秋业，
百岁喜看后来人。

年高德劭的钱老一贯强调，人一方面要有文化艺术修养，另一方面又要有科学技术知识。他说："人的智慧是两大部分：量智和性智。缺一不成智慧！此为'大成智慧学'，是辩证唯物主义的。"[1]这里的"量智"主要就是指科学知识、科学思维，这里的"性智"主要就是指文艺知识、艺术思维。因此，可以说科学与艺术共同构成"大成智慧学"[2]的重要内容。

所谓"大成智慧学"简要而通俗地说，就是"集大成 得智慧"，是引导人们如何尽快获得聪明才智与创新能力的学问。其目的在于使人们面对浩瀚的宇宙和微观世界，面对新世纪各种飞速发展、变幻莫测而又错综复杂的事物时，能够迅速作出科学、准确而又灵活、明智的判断与决策，并能不断有所发现、有所创新。

新的世纪开始了，这将是高科技群体飞速发展和新的科技革

命、社会革命相继到来的世纪，也将是又一次伟大的文艺复兴和大智大德的新人辈出的世纪。人类的未来，国家的命运比以往任何时候都更加依赖于有智慧又敢于创新的人。

如何尽快提高人们的智能，以适应新世纪发展的需要？这是钱老几十年来，尤其是近十年来，着力思考的时代课题。他认为这是件大事，特别重要，其意义甚至不亚于当年“两弹一星”的研制、发射。钱老在近90高龄的时候，还说：“我想我们人民中国就该创新大成智慧，为世界作好事！”[3] 钱老和祖国如江河与大海不可分割，他希望人民中国做的事，其实也就是他自己多年来昼作夜思，殚精毕力正在做的事。因为他深深地热爱着祖国和人民，也时刻关心着世界的发展和变化。

14.1 科学与艺术是不断丰富的一对范畴

科学与艺术这一对古老而又常新的范畴，不同时代、不同名家、不同专业的人有不同的理解。长久以来，我们习惯地认为科学主要指自然科学，科学研究的对象是整个自然界，科学的任务是揭示自然界的奥秘，科学追求的是“真”，科学知识应该能够正确反映客观事物的本质和规律，可以量化、经得起实践（实验）反复检验、具有普遍性，如数、理、化、天、地、生等各门科学。

我们也常常认为艺术要研究的对象是人，艺术的任务是揭示人类情感世界的奥秘，艺术追求的是“美”和“善”。艺术成果具有个性、特殊性，如音乐、美术、戏剧、舞蹈、雕塑、绘画、文学等等。

许多事实也说明，科学研究多用左脑，以逻辑（抽象）思维和生产实践、科学实验为主，而艺术创作多用右脑，以形象（直感）思维和艺术活动、社会实践为主

总之，我们都不会否认科学和艺术各有其特点，似乎是一冷一热，一微观一宏观，它们之间的确有很大的区别

然而，科学与艺术也是相互统一、相互促进的。古今中外许多著名的科学家、学者不仅热爱艺术，而且也是艺术家，许多艺术家在科学上也有很深刻的理解和成就。他们往往是集科学技术、艺术、哲学于一身的多才多艺的伟人，因而能够找到智慧之源，创新之路，成功之奥秘，为人类的物质文明和精神文明做出重大的贡献　例如，钱老常常兴致勃勃地向我们谈起达·芬奇、爱因斯坦、鲁迅、郭沫若等，在科学与艺术上都很有成就的大科学家、大文学家。他也常常夸赞那些才华出众的著名科学家，如竺可桢、苏步青、李四光、郭永怀、高士其、汪德昭、钱三强、卢嘉锡、许国志、吴阶平以及李政道、贝聿铭等等，认为他们不但有广博的科学知识，而且有很深的艺术素养，因而能够在科学研究、科学普及和科学的各个领域里，做出了卓越的贡献

20世纪中叶以来，由于高科技群体的飞速发展，特别是微电子信息技术革命带来的电子计算机、多媒体、虚境技术(virtual reality)、信息网络等技术和设备的使用与普及，使得人们在信息获取、传输、存储、检索、处理、以至利用信息技术进行组织、协调、控制、决策等方面的速度和效率，都发生了神奇的变化。人们的思维空间、对世界认识的深度和广度大大拓展了，加之各门科学相互渗透与交叉，科学与艺术也逐渐更多地相互发现了对方的亮点，你依着我，我恋着你，希望永远融合在一起。因此，科学与艺术这两个既有区别又有联系的范畴，也随着社会的发展，科学的进步，人类认识的深入，而有新的内涵和外延。

下面依照钱老的大成智慧学、大科学观(现代科学技术体系观)，试从科学与艺术的共同发展、综合创新等方面，阐述钱老关于

科学与艺术的新思想、新见解

14.2 科学与艺术相须而行共同发展

1. 科学与艺术的共同根源

从我们日常生活中看来，科学与艺术似有天壤之别。那么科学与艺术作为一种文化和文明，最初在人类社会里是怎样产生的？它们同根同源吗？有这样一件事曾引起我的思考：

那是1994年秋天，当我协助钱老把《科学的艺术与艺术的科学》一书编辑好以后，出版社在书的封皮上用汉语拼音给书名拼注上了，我觉得好像幼儿读物，建议用英文书名与中文书名对照，责任编辑立即问我："那英文书名是什么？"我事先没想过，便脱口而出："Scientific Art and Artistic Science."说完我俩都哈哈大笑起来，他问："行吗？"我说："不行，是瞎蒙的，等我请教一下钱老再说！"

随后，蒋英老师知道了，她立刻打来电话告诉我：书名《科学的艺术与艺术的科学》用英文表述，应该是：

"The Fine Arts with Science and the Science of Fine Arts."

这本书的英文书名算是解决了，书很快出版了。但是蒋英老师为什么说艺术是"Fine Arts"而不用"Art"来表达呢？我错了吗？我查了手头几种外文字典。发现"Art"确实不当艺术讲，只有"Fine Arts"才是美术（包括油画、素描）、建筑、雕塑、诗歌、音乐、舞蹈、戏剧等艺术的总称，后来把文学、小说等也包括在艺术之中了。在英文、法文字典中，"Art"至今仍作技术、技艺、人工等解释。而中国的"艺"字原为"藝"，甲骨文中"藝"是人在种植的象形字，所以"艺术"早先解释为劳动技能、技术。而科学（Science）最初也是来自对劳动技能、技术经验的提炼。由此可见，科学（Science）与艺术

(Art),在萌芽时期,都起源于人们的物质生产劳动,我们的祖先在与狂暴的自然力做斗争中,不仅积累了丰富的生产经验,发现了各种科学技术知识(Science),也创造出无数神奇美妙的(Fine)传说和技艺精品(Arts),这就是艺术(Fine Arts)。

古希腊神话中善良美丽的女神缪斯(Muses)是西方人树立起来的科学与艺术之神,后来在荷马史诗《奥德赛》中,又说他们共有9位女神,分别司理音乐、诗歌、绘画、历史、天文等,总称为缪斯,她是古老的科学与艺术统一的象征。

从中国古代第一部诗歌总集——《诗经》来看,它反映了自公元前11世纪至公元前6世纪(西周初叶至春秋中叶)大约500年的历史文化,共305篇诗歌,不但有很高的文学艺术价值,传诵至今,如"关关雎鸠,在河之洲,窈窕淑女,君子好逑"等;其中还酝酿着丰富的科学思想,涉及天文、气象、农业生产等知识,并闪烁着"有物有则"等理性之光。

再看,先秦古籍中的《山海经》,全书虽只有三万多字,却包含了我国古代地理、历史、博物、医药等多方面的科学技术知识,是我国中医、中药和水文、地理的先声。同时它又带有浓郁的神话色彩,如精卫填海、夸父逐日、鲧禹治水等,其独特的想象力和高扬人类与自然灾害顽强斗争的勇敢精神,至今仍具有深远的艺术魅力。

这些历史文物和历史文献清楚地表明,科学技术与文学艺术最初都起源于人类的社会物质生产劳动。他们"本自同根生"。

2. 科学与艺术的共同对象

钱老对科学与艺术研究对象的看法,与他的大科学观一脉相承。20世纪是高新科技和文学艺术迅猛发展灿烂辉煌的世纪,各

种交叉学科群起，现代科学技术愈分愈细，然而又相互渗透、相互促进、日益综合。钱老于20世纪80年代初就提出："现代科学技术不单是研究一个个的事物，一个个现象，而是研究这些事物、现象发展变化的过程，研究这些事物相互之间的关系。今天，现代科学技术已经发展成为一个很严密的综合起来的体系，这是现代科学技术的一个重要特点。"[4] 当然，这是个活的体系，随着人类社会的发展、科学技术的进步这个体系的内容和结构也会有新的变化，新的补充

从科学技术和文学艺术发展的这一现实出发，钱老认为，"科学"范畴的内涵应扩展为，认识客观世界的学问，而改造客观世界的学问就是技术。各门科学的区分主要是从人们研究问题的着眼点或看问题的角度之不同，来加以区分的。各门科学所研究的对象其实都是统一的，即整个客观世界(包括自然界、人类社会、人和人化自然等)。所以，在现代科学技术体系中，不仅是自然科学，还应包括社会科学、思维科学、系统科学、军事科学、地理科学、人体科学、建筑科学、行为科学、数学科学和文艺理论等至少11大部门。

钱老还说，科学就是追求真理。这也说明科学的任务不仅揭示自然界的奥秘，还要揭示人、人类社会、人的思维等的奥秘，寻求正确反映它们的本质及其发展变化的普遍规律。这当然不是凭空想象出来的，归根到底是从客观的事实、历史的经验教训、反复的实践(实验)检验中总结提炼出来的知识。它应具有真理性、普遍性。然而科学知识又总是在不断丰富、发展的，已知的只是一条小溪，未知的还是一片汪洋大海，从相对真理涌向绝对真理的波涛永远不会停息。

"艺术"从广义上来讲，也包括作为语言艺术的文学。文学艺

术固然是以人和人类社会生活为主要研究对象的，但是任何人在这个世界上都不是孤立的，他总是与整个客观世界，整个社会发展变化息息相关的，每个人的思想观念都这样或那样地反映出他所处的社会关系、自然条件甚至当时的世界环境。文学艺术的任务就是要研究人与人、人与社会、人与自然相对相依、悲欢离合的实际生活，并以多姿多彩的方式，揭示社会内部错综复杂的矛盾和发展规律，揭示真善美与假恶丑既对立又统一的关系，由此展开跌宕起伏、荡气回肠的人类情感世界的多彩画卷。

《红楼梦》中各种人物能够被写得千姿百态，栩栩如生，感人至深，并成为封建社会的百科全书，这与作者曹雪芹的经历和社会关系分不开。从他的曾祖父起，三代世袭江宁织造，祖父的两个女儿被选作王妃，康熙六次南巡，有五次以他家为行宫，后因其父获罪落职，家产抄没，一败涂地。如果他没有这样的亲身经历和客观环境，是写不出《红楼梦》的。

艺术源于生活，又高于生活。生活是极为复杂的，它与现实的自然、社会以至整个世界密切相关，一位艺术家要对人民有个正确的认识和引导，就必须对人民所生活的现实世界有所认识，而要认识现实世界就需要广博的知识，包括自然科学、社会科学、思维科学以及正确的哲学等。也还需要丰富的阅历和深入实际的调查研究、亲身体验。有了这样的科学素质，创造出的艺术品不仅具有鲜明的个性，而且有可能闪现出真理的普遍性。

可见，“艺术”与“科学”虽然研究的角度、着眼点以至表现方式有很大的区别，但是它们有着共同的研究对象，即包括自然界、人、人类社会和人的思维（人的精神世界）在内的整个世界。所以，从艺术与科学研究的对象来看，归根结底是统一的。这是科学与艺术有可能相互融通、相互促进、相须而行的共同基础。

钱老正是根据这种大科学观，把“文艺理论”作为单独一个科学大部门列入现代科学技术体系之中，并把“美学”列为文学艺术通向马克思主义哲学(辩证唯物主义)的桥梁。文艺理论与各门科学技术是并列的，共同组成一个不可分割的动态网络体系，相互渗透、相互促进、不断发展。

3. 科学与艺术的共同目的

科学家与艺术家对客观事物观察的视角不同，反映不同，工作方法和工作成果也不同。但是，科学技术和文艺理论作为认识世界和改造世界的学问，其目的都是为了给我们以科学的知识，使人们能够更深刻地认识现实世界各种复杂的事物，包括认识我们自己、人和人的精神等的本质和规律。同时，科学的观点、科学的精神和优秀的文学艺术作品还可以塑造人的思想、情操，培养人们具有高尚的品德和美好的心灵，以至影响人们的行为，更好地适应环境、改造世界，实现人与自然的和谐发展，让世界更美好，人类更幸福。如同贝多芬在《欢乐颂》中所表达的理想：“人类同享幸福与欢乐，在这美丽的大地上。”

当年诗人光未然带着小分队北上抗日，路经黄河险峡，为壶口大瀑布巨大而狂暴的怒吼声震惊的时候，面对黄河的冲天骇浪，望着两岸船工拉着纤绳与浪涛拼死搏斗的动人场面，立刻写下了长诗《黄河吟》。随后，音乐家冼星海仅用了六天就给《黄河吟》谱了曲，成为反映民族精神的中华魂——《黄河大合唱》，不但有力地激励了抗日斗争的士气，也极大地振奋了我们中华民族的精神。半个世纪以来，《黄河大合唱》成为中华民族相互沟通、团结奋进的共同心声。这是从艺术人的角度来观察和工作所达到的目的。

从科技人的角度来观察与工作又如何呢？新中国成立之初，

有一支年轻的水文地质队来到黄河壶口，也为黄河这咆哮不羁的惊涛骇浪震惊了，他们也注意到两岸人民贫穷痛苦的生活，便立刻奔到河边用双臂去承接这滔天的黄水。当他们发现这里的黄河水竟然可以使手臂粘上一层泥沙时，心情很沉重。因为这说明壶口奔流澎湃的黄水中，泥沙含量至少在20%以上，世界罕见，危害深重，必须尽快治理黄河。于是他们立刻进行总体规划，向国家建议有步骤地在西北保护森林，兴修水库，防止污染等等，以保持水土、保护生态环境，让母亲河源远流长，更好地养育世世代代的中华儿女。

由此可见，虽然科学人与艺术人观察问题和研究问题的角度不同，工作的方法和成果的表现形式不同，但是彼此研究和观察的对象是相同的，都是黄河壶口瀑布，最终的目的和心愿也是相同的，都是为了使中国人民有幸福的生活、美满的家园。这也是科学与艺术有可能相互沟通的统一性。

4. 科学与艺术的共同灵魂

艺术似乎与科学不同，艺术是通过生动具体的典型形象来反映现实，揭示客观世界普遍真理。如我们常见的戏剧、文学、音乐、舞蹈、美术、电影、电视、雕塑、建筑等作品，都极具鲜明的个性和特色，能激动起人们内心深处的情感世界，给人以真善美的启发和教育。这其中饱含着艺术家个性化的特征、体验和创造，否则，一部接一部都是大同小异的戏，宫廷、武打、婚外恋，开头看着还新鲜，多了就腻了，作品难有永久的魅力和巨大的社会效益。艺术贵在创新，要敢于从旧的文化传统中打开一个新世界，这种创新精神是艺术生命的灵魂。

其实，科学更需要创新，创新也是科学发展的灵魂。钱老经常

强调，搞科学技术的人，如果只是停留在前人或他人科研成果的基础上转来转去，没有新的发现、新的创造，不能适应科学和社会发展的需要，那就不算是做了科学研究工作。当然，科学工作要有新的发现和创新是很难的，有时会受到经费、实验条件、设备、体制等的限制，还有可能不断失败、犯错误、遭到来自各方面的打击、讥讽和压力，使你孤立无援，甚至危及生命。然而真理往往在少数人手里，错误是正确的先导，真正的科学家就是要勇于在实验、失败，再实验、再失败，再实验的斗争中探求真理。当然，也要防止偏见，"偏见令我们失去真理，我们要警惕啊！"[5]

钱老就是一位勇于创新，从不墨守成规的大科学家。1999 年 6 月 7 日美国的《TIME》Johanna Mcgeary 撰文，以钱老为例批判 Cox 的所谓中国人窃密的报告。该文虽有一些不实之词，但他认为 20 世纪"50 年代全球 20 个洲际弹道导弹系统的建立，包括现在那些北京还把目标对准着美国的，都是钱学森智慧的产物。"（Qian is the brains behind the 20 – odd' 50s – era ICBMS, including those Beijing currently targets at the U.S.）

20 世纪末，中国大型《科技画报》（1999 年 7 月）刊载了对 20 世纪科学技术发展有重大影响的 20 位科技巨人[6]，其中有爱因斯坦、玻尔、居里夫人等，而第 18 位就是钱学森，是世界上惟一入选的中国人，被誉为"中国的航天之父"。我看了以后对钱老说："其实，我看您不仅是中国的航天之父，您在应用力学、系统科学、思维科学、人体科学、军事科学、地理科学、建筑科学，以至大农业、大成智慧等广泛的科学技术领域里都有原创性的杰出贡献，影响着我国乃至世界现代科学技术的发展，可惜很多中国人和外国人还不知道，他们把您的成就写得太简单了。"钱老谦虚地笑着说："你对我过奖了，我很不敢当。文字够了，每个人都写得不多，你看，日本

人还没有呢!"

钱老对创新是非常重视的,总是鼓励我们要敢于创新。

1995年新年,钱老读了"毛泽东与科学"研讨会的文章以后,心情久久不能平静。文章里提到50年代毛主席曾在不同场合接见过钱学森(当时他只有45岁),多次鼓励他要敢想、敢说、敢做、敢于创新,为中国的科学事业做出贡献。钱老随即写信对我们说:当时,"毛主席要我们创新,我们做到了吗?回想在60年代,我国科学技术人员是按毛主席教导办的:

1. 我国理论物理学家提出基本粒子的'层子'理论,它先于国外的'夸克'理论。

2. 我国率先人工合成胰岛素。

3. 我国成功地实现氢弹引爆的独特技术。

4. 我国成功地解决了大推力液体燃料、氧化剂火箭发动机燃烧稳定问题。

5. 其他。

但是今天呢?我国科学技术人员有重要创新吗?诸位比我知道得更多。我认为我们太迷信洋人了,胆子太小了!

我们这个小集体如果不创新,我们将成为无能之辈!我们要敢干!"[7]

我想,钱老这些话不仅是对我们这个小集体的鞭策与批评,也是这位老科学家对所有科技人和文艺人的激励和期望。因为创新是科学与艺术的共同灵魂,也是我们民族发展的灵魂。

总之,由于科学与艺术有共同的根源——社会物质生产劳动;有共同的对象——整个世界;有共同的目的——让世界更美好,人类更幸福;有共同的灵魂——追求真理,勇于创新。所以,科学与艺术从本质上来看,它们原本就是可以相互融通、相互促进、相须

而行、共同发展的。

14.3 科学与艺术相辅相成综合创新

1. 艺术创新需要高新技术

科学技术的迅速发展不仅促进社会生产力的提高、经济实力的增强、人民生活的改善，而且逐渐丰富和改变着文学艺术的表现方式和传播的载体，不断开辟文艺驰骋的新领域，拓展文艺创新的广阔天地。1995年秋，钱老从这个角度观察人类文化发展的历史，认为大致可分为三个阶段："1)机械文化阶段 2)影视文化阶段 3)信息文化阶段"。[8]

1)机械文化阶段：是在科学技术尚不发达的古代，人们以泥土、石壁、甲骨、竹木、丝麻、绢帛、草纸、玉石、金银、铜铁等物质为载体，通过手工劳作、绘画、笔写、刀刻或利用简单的机械印刷、熔铸等技术，创造出各种文化艺术品。例如，商周时期利用青铜铸造技术，创造出举世罕见的编钟，发展了美妙的东方音乐，东汉时期也创造出奔马踏飞燕等无数精美的青铜艺术品；而造纸和印刷技术的发明，使得祖国大量优秀的文学艺术精品诗、词、歌、赋等得以相摹相长，流传至今，再创辉煌。

2)影视文化阶段：近代物理学革命，电磁理论的建立，使得文学艺术有可能与电子技术相结合，创造出电影、电视、电子琴、录像带、录音伴唱(卡拉OK)等新的文艺成果，图文声像并茂。并可随意调节与编排，还可组成综合艺术形式，使得文艺人易于掌握前人的艺术成果，运用新工具、新技术，创造出新的艺术内容和形式。

1985年，当时国内录音机、录音带还是很新鲜的玩艺儿。钱老曾问夫人蒋英(中央音乐学院声乐教授)："现代科学技术对你们

的音乐有没有影响呀？”蒋英老师兴奋地说：“当然有了，影响可大了。现在有录音带，音响技术等等，都是现代科学技术的产物。我们在年轻的时候，有许多解决不了的问题现在都很容易解决。过去，要研究一个音乐作品，先要找来它的乐谱；看了乐谱，还不知道它的音乐究竟怎么样，要琢磨好久好久。现在就很容易了，把它的谱子找来，再把录音带找来，一听就知道怎么回事了。所以，科学技术对于音乐的影响是不用说的。”[9] 钱老说：“恐怕这种情况对于各门艺术来说都是存在的。”[10]

3）信息文化阶段：当前以微电子信息技术革命为先导的一大批高新科技群体飞速发展，使我们进入了信息社会，人们可以通过计算机、多媒体、遥作技术、灵境技术、信息网络、数字地球等，形成人—机结合可以交互作用的思维体系，就更便于人们调集古今中外有关的艺术信息，集智慧之大成。让艺术人走入一个丰富多彩的、亦真亦幻的艺术世界，汲取艺术精华，扩展认识空间，启迪艺术家的心智与灵感，从而有利于提高艺术家的创造性思维的能力，创造出崭新的艺术精品。

关于各种艺术创新的可能与方向，钱老在20年前写的《科学技术现代化一定要带动文学艺术现代化》[11]一文中，从扩音、录音技术与音乐艺术，新型建筑材料与建筑艺术，舞台新光源、舞台结构设计与戏剧艺术，到新的摄影技术、洗印、电脑制作、编排与电视、电影艺术等等各个方面，都设想了如何改进与创新的方法与方向。今天，钱老的预言已经逐渐成为绚丽的现实。目前，故宫博物院开通“数字故宫”网站，利用电子信息技术让故宫走向世界，使人们坐在家里比亲临故宫现场获得的信息还要丰富、神奇，并给以美的享受。

由此可见，往往是科学技术的发展给文艺的表达提供了前所

未有的可能性。钱老说："我们应该自觉地去研究科学技术和文学艺术之间的这种相互作用的规律。不但研究规律，而且应该能动地去寻找还有什么现代科学技术成果可以为文学艺术所利用，使科学技术为创造社会主义文艺服务。我们也要在这个领域走到世界前列。"[12]

1994年夏，钱老又强调说："作为社会主义中国的文艺人，文艺理论工作者，他们应该以锐敏的眼光，发现一切可以为文艺活动服务的新高技术，并研究如何利用它来发展社会主义中国的文艺，繁荣新中国的文艺。所以这也是现代中国的社会革命要研究的课题。当然，不忘中国五千年辉煌的文艺传统，但我们在21世纪要利用最新的科学技术成果发扬这一文艺传统！"[13]钱老许多年前提出的这些设想和见解，至今仍富有前瞻性，颇具指导意义。这样的文艺就是钱老所倡导的"科学的艺术"。

2. 艺术创新要有科学的世界观

钱老关于"科学的艺术"还有另一个方面的含义，那就是文艺创作必须立足于正确的世界观，即要以科学的世界观、人生观为指导，才能创造出优秀的艺术作品，也就是说好的艺术作品要能体现出深刻的哲理，这是文学艺术的最高台阶。

钱老认为，现代科学技术体系中的文艺理论，其层次划分与其他10个科学部门的划分略有不同，它的基础理论层次是文艺理论；它的应用技术层次是文艺创作；它通往马克思主义哲学的桥梁是美学；它的最高概括是科学的世界观——马克思主义哲学，同时，给"文艺活动"划出了广阔的空间。在这个体系的外围还有前科学的东西，如实践经验知识库、不成文的实际感受、灵感、潜意识和初步的哲学思考等等，也是艺术创造的源泉。

关于什么是“美”，钱老认为美是主观实践与客观实际交互作用后的主客观的统一。这是比较抽象的、原则性的概说。因为个人的文化素质、生活经历和体验不同，对美的感受与欣赏的能力也不同。所以，不同人有不同的美感和审美观念，这是美的主观性。鲜花、鸟鸣本是很美的，但当“国破山河在，城春草木深”时，杜甫写下了“感时花溅泪，恨别鸟惊心”（春望）的诗句。

这一点我也有个体会。我国有位著名肖像雕塑大师，前几年雕了一尊钱老的头像。我走进他的工作室一看，觉得钱老的形象和神态非常好，仔细端详以后，还有一种难以言表的睿智与崇高的美，真绝了！然而从整体上看，我又觉得很不舒服，于是便不假思索地向大师建议说：“您在他脖子下面再糊上点塑泥，显出肩膀和胸部是不是更美一些？只是个头像，好似从脖子上砍下来的，有点瘆人。”没想到，我这低俗的感受令大师十分恼火，他便也率直地说：“头像是一种艺术形式，这种形式最适合雕塑马克思、爱因斯坦、钱学森这样伟大的思想家、科学家。如果你认为头像可怕，那么胸像如同从胸部砍下来，半身像如同从腰部横劈一刀，不也一样很可怕吗？”

我无言以对，便向蒋英老师诉说原委，并给她看了雕塑钱老头像的照片。蒋英老师是在西欧成长起来的艺术家，见多识广，艺术造诣很深。她看了照片以后，很快就理解了，接受了。她拿出法国著名肖像雕塑大师罗丹（Rodin, Auguste 1840—1917）塑造的少女头像《思》给我看，说明这的确是一种高度精炼的艺术形式，让我不要再坚持己见。后来，这位大师的《钱学森像》在庆祝建国50周年的美展上荣获了金奖。北京的报纸上还为他作了详细的报道。

那么，艺术品本身是否也可以划分为不同层次呢？也就是说美有没有客观性？美的品味有没有高低之分？我想有的仿佛可以

区分，如音乐中有“阳春白雪”，也有“下里巴人”，当然这不是好与坏的区分，是普及与提高的区别。而有的艺术品离开审美的主观性，抽象地谈美的客观性，确实很难表述清楚艺术品味的高与低。要看对什么样的人来说，要考虑美的主观性。但是，美也不是没有客观性。九寨沟、武夷山、张家界、桂林山水，人人都说它美，因为它有着客观世界固有的美，自然的美。如果美没有客观性，国际声乐、钢琴、提琴大奖赛也就评比不出获奖人了。帕瓦罗蒂等国际三大男高音歌唱家的涌现和被公认，也表明了这一点。

因此，美既有主观性又有客观性，要真正说清什么是“美”，不能单从主观上理解，也不能单从客观上评论，因为“美”是主观实践与客观实际交互作用后的主客观的统一。

钱老和蒋英老师一直都非常喜欢那些表达哲理的、陈述文艺创作者的世界观、人生观的诗词、音乐、戏剧等文学艺术作品。他们认为这样的艺术比较高雅而深刻，常常给人以战胜困难的力量，争取胜利的信心，唤起人们对未来的美好憧憬，从而激发人的创造才能，应属于艺术的最高台阶。

音乐是一种能够表现人类内心最深处的本性的艺术。钱老从年轻时代起就特别喜欢贝多芬创作的许多乐曲，认为他的乐曲辉煌雄伟、富于想象力，乐曲中用极为丰富而精炼的音乐语言展现出与黑暗势力和苦难命运顽强抗争的大无畏精神，如贝多芬的命运交响曲、英雄交响曲和第九交响曲等，特别震撼人心。它时常带给钱老勇气和力量，鼓励他冲向科学技术的高峰。而贝多芬晚年创作的弦乐四重奏，蕴涵着贝多芬把痛苦留给自己，把欢乐送给人间的高尚品德。特别是作品第132号第3乐章(慢板)，优美典雅，给人一种真挚亲切的静谧之感，和对世界上一切美好事物充满歌颂、爱慕与依恋之情，把人引向纯洁而崇高的神圣境界。它既富于哲

理、又似乎有一种超然于哲理的更高的启示，这种意境也时常激起钱老的情趣与共鸣。

蒋英老师非常喜欢莫扎特的作品，认为他的乐曲旋律活泼、欢快、优美，内涵丰富、深刻、健康。而莫扎特的性格和贝多芬相似，是一个有坚强意志、反抗精神和远大理想的人，他的作品《费多罗的婚礼》歌颂了第三等级人的智慧，嘲笑了达官贵人的愚蠢。

钱老对我国传统的诗词、文学也有极大的兴趣。他曾说，我国唐代大诗人李白在他生命的最后一年，有一首长诗《下途归石门旧居》，里面有这样的句子："我离虽则岁物改，如今了然识所在。"意思是说他这一辈子，在那样一个社会里，虽然经历了不少世事变迁，晚年回到旧居以后，终于明白了自己的社会位置，但他以前没有识破，现在才识破了。这是他这个人一辈子认识的最后总结。那首长诗的最后几句是："翛然远与世事间，装鸾驾鹤又复远。何必长从七贵游？劳生徒聚万金产。挹君去，长相思，云游雨散从此辞。欲知恨别心易苦，向暮春风杨柳丝。"李白以此来寄托他的情感，表达了他的世界观、人生观，诗文富于哲理，也引起了钱老的兴趣。

钱老近80岁时，有一次我去看望他，他很有兴致地谈起，曾在云南昆明大观楼的柱子上看到一幅长达180字的楹联。上联90个字是描写昆明滇池及两岸的湖光山色的，下联90个字他竟脱口而出："数千年往事注到心头，把酒临虚，叹滚滚英雄谁在。想汉习楼船，唐标铁柱，宋挥玉斧，元跨革囊，伟烈丰功，费尽移山心力。尽朱帘画栋，卷不及暮雨朝云，便断碣残碑，都付与苍烟落照。只赢得几杵疏钟，半江渔火，两行秋雁，一枕清霜。"钱老认为这副对联不是单纯地抒发情感，而是表达了一种人生观、世界观。虽然有些消极，不如李清照的《夏日绝句》"生当作人杰，死亦为鬼雄"豪

迈，但是，它反映出封建社会里历代英雄、名士的处境、流露出澹泊名利的情思，也很深刻，应属于艺术的上品。

总之，今天的艺术创新并不是简单的花样翻新，而是要心怀祖国、面向世界，以科学的世界观、人生观和美学为指导，利用人—机结合的信息网络技术，集古今中外艺术精品之大成，在此深厚的艺术基础上，推陈出新，从艺术的内容和形式上，达到更高的台阶、更高的境界，给人以深刻的启迪和教育，塑造人们美好的心灵和高尚的情操。

3. 科学思维与艺术思维的特点：

钱老于上个世纪80年代提出现代科学技术体系以后，又借鉴北大老哲学家熊十力教授把智慧分为"性智"、"量智"的观点，并对其加以唯物主义的解释与发挥。他认为，数学科学、自然科学、系统科学、军事科学等10大科学技术部门的知识是性智、量智的结合，主要表现为"量智"；而文艺创作、文艺理论、美学以及各种文艺实践活动，也是性智与量智的结合，但主要表现为"性智"；"性智"、"量智"是相通的。

"量智"是侧重对事物从微观到宏观、从局部到整体、从量变到质变的发展过程去探索其本质和规律的学问；"性智"是侧重对事物从宏观到微观，从整体的、形象的感受上，从事物的"质"上入手去探索其本质和规律的学问。钱老十分重视人们"性智"的培养。

钱老说："……2)事物的理解可分为'量'与'质'两个方面。但'量'与'质'又是辩证统一的，有从'量'到'质'的变化和'质'也影响'量'的变化。我们对事物的认识，最后目标是对其整体及内涵都充分理解。'量智'主要是科学技术，是说科学技术总是从局

部到整体,从研究量变到质变,'量'非常重要 当然科学技术也重视由量变所引起的质变,所以科学技术也有'性智',也很重要。大科学家就尤其要有'性智'。

3)'性智'是从整体感受入手去理解事物,中国古代学者就如此 所以是从整体,从'质'入手去认识世界的。中医理论就如此,从'望、闻、问、切'到'辨证施治';但最后也有'量',用药都定量的嘛。"[14]

钱老认为,人既要有"性智",也要有"量智",这就是大成智慧。后来我把他的这一重要思想写入到《钱学森的艺术情趣》一文中,1995年11月27日发表在《人民日报》(海外版)上,随即在12月3日的《新加坡联合早报》上转载了。有位老华侨、诗人、书法家潘受看到以后十分兴奋,他立即写了长诗赞扬钱老对"两弹一星"的贡献,并为祖国的强大而备感骄傲。与此同时,他还注意到钱老的大成智慧学思想。潘先生很快就理解到若想获得聪明才智与创新能力成为大成智慧者,就要既掌握"量智"又掌握"性智",也就是既遵"天道"又通"人道"。于是老人家立刻挥毫为钱老书写了一副楹联,字体遒劲有力,很有功底。上联是:"量性双悟智",下联是"天人一贯才"。80多岁的潘老先生仅用十个大字就把钱老的"大成智慧学"这头巨龙的眼睛给点画出来了,真是神来之笔,也是诗人敏锐而宏括的魅力吧。

在这十个大字的两边,还有一篇动情的诗文,抄录如下:

"学森先生称:科技为量智,文艺为性智。前者逻辑思维,后者形象思维。一客观,一主观,一冷一热,交流合冶,探微发秘,灵境神游。于是宇宙间万事万物之理,可化隔为不隔,化不通为通,从而奇光异彩,随之出现。综先生指归,其寤寐求之之道,曰:'大成智慧学',是亦古人学究天人之意也。量智,天学也;性智,人学也。

然自古及今,鲜有学究天人足以媲美先生者。中国今日有火箭,有导弹,有人造卫星,且视二三先进国为进步。中国今日转弱为强,具足威仪,无犯人之心,而有凛然不可犯之色。凡此,非多得力于先生之研究成果而何?五年后二十一世纪来临,先生预言人类即将生活在各种高科技飞速发展之信息时代,亦即以信息技术革命为龙头之第五次产业革命。吾知先生必更大显神通,别是一番身手。漪欤,伟哉!如先生者,吾安得不讴歌赞叹而顶礼之?东坡云:渺渺兮余怀,望美人兮天一方。太白云:生不愿封万户侯,但愿一识韩荆州。东坡之怀,太白之愿,吾于先生皆倍之,因缀五言一句,书为楹帖,奉博先生洎夫人一粲,尚乞不吝赐教,亦冀幸真有瞻风采,偿夙愿之一日耳。

乙亥冬新加坡联合早报转载钱学敏作《钱学森的艺术情趣》一文读后。

看云野叟 潘受。"

为什么"量性双悟智",就能具有创新的能力成为"天人一贯才"呢?从思维方式来看,"量智"的思维方式是逻辑思维与形象思维的结合,侧重于逻辑思维方式,大多用于科学研究与实验,所以也叫做科学思维方式。"性智"的思维方式固然也是逻辑思维与形象思维相结合,但侧重于形象思维方式,大多用于艺术创造与艺术活动,所以,也叫做艺术思维方式。

(1)科学思维或称逻辑思维方式主要是通过运用概念进行判断、推理等抽象的思维形式,能动地反映现实的认识过程。因此,逻辑思维可以用语言、符号、数字为工具,比较准确地表达出来,思维运行的轨迹基本上是串行的,范围主要是局部的、微观的。逻辑(抽象)思维过程也不是很简单的,面对那些极其复杂的事物(开放的复杂巨系统)要进行逻辑(抽象)思维或说运用科学思维,就需要

在反复观察与实践的基础上，弄清是非得失和主次之要，去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里，分析综合、归纳演绎等思维加工制作，在这个过程中，要撇开事物的具体形象和个别属性，努力揭示出事物的本质特征和规律，形成新的认识、新的理念。这样一种辩证的思维过程，虽然是曲折的、复杂的、螺旋式上升的，但从总体的趋势来看，仍如钱老所说："抽象逻辑思维是一步步推下去的，是线型的，或者又分叉，是枝杈型的"。[15]在思维过程中可能需要更多地运用辩证逻辑、数理逻辑，而不仅仅是形式逻辑。这是它的特点。

逻辑思维的结果一般都是完全确定的、惟一的、可以表达的。因而对这类信息的加工处理，可以尽量用电子计算机来代替，也就是说科学思维基本上可以用电脑帮助解决。但是，目前计算机的功能是有限的，单纯用逻辑（抽象）思维，或称科学思维，单纯靠计算机处理，没有人的形象（直感）思维，或称艺术思维，是不能创新科学技术的。

（2）艺术思维或称形象思维方式至今还很难说清楚。钱老曾把直感归为形象思维之中，并把灵感（顿悟）思维作为形象思维的特例。关于形象思维的特点，很早以前钱老曾这样猜想过："形象思维常常连一点来龙去脉都搞不清楚。所以我似乎觉得它是不是面形的、二维的，而不是一维的？"[16]

20年前，钱老对形象思维及其与创造思维的过程，还有这样一段描述：

"形象直感思维跟抽象的逻辑思维不一样的地方是网络性的、并联处理的；而且这里面有一种模糊性在里头，人的形象（直感）思维都是从许多方面同时进行，开始的时候是很模糊的，所谓得到结果就是在这个网络里头的某一个部分忽然出现一个很清晰的形象，好，这个问题就解决了，那么人的创造过程也就是这么一个过

程。"[17]当然,形象思维和灵感思维的成果还需要迅速用逻辑规律去进一步证明,用科学实验、社会实践去检验。

我理解所谓形象思维和灵感思维这种艺术家常用的思维方式,不完全是单纯地对事物表面现象进行"模式识别",或形体、外表的直观(直觉),而是还蕴含着对所观察事物的整体的、宏观的、性质方面的思考,以至对事物的本质和规律性的想象和猜测,其间有时还可能融入了情感的、心理的因素。因而,往往是朦胧的、凝练的、复杂的、多途径、非线性的,有时是瞬时即逝的。

1955年10月力学家朱兆祥教授(当时34岁),受命第一个到深圳迎接钱老一家人回归祖国,并协助钱老创建中科院力学所等,彼此结为知己。1957年朱先生蒙受不白之冤,被"调"到外地,自此命途多舛,虽在教育和爆炸力学等方面做出重要贡献,但再未能与钱老共事和见面,只把深深的友情和怀念埋藏心底。前些日子,忽然接到90岁的钱老祝贺他80岁寿辰的亲笔信,顿时百感交集,多少话不知从何说起……。我想这种"百感交集"的思维方式不仅仅是对钱老形象的"模式识别",还有一种模糊的、复杂的、动情的思考,这似应属于形象思维或称艺术思维的范畴。

艺术思维(形象思维)还有一个非常重要的特点,就是思路灵活、多向搜索、联想、猜测,进行大跨度的思考、远缘"杂交"。也就是说艺术家或科学家对周围事物进行敏锐而详尽的洞察之后,运用丰富的想象力去捕捉复杂事物的本质和整体,从宏观的"形象"上一下子抓住事物发展变化的机理和精髓。爱因斯坦曾说:"想象力比知识更重要,因为知识是有限的,而想象力概括着世界上的一切,推动着进步,并且是知识化的源泉。"[18]

从爱因斯坦的质能关系式 $E = mc^2$,到设计出原子弹和原子能发电站;从二进位制的数字变化规则,到设计出今天的电子计算

机;从建筑科学到建成山水城市等等,都是既有科学思维(逻辑思维)又充分发挥了艺术思维(形象思维)的想象力。

有一次,钱老一边抚摸着他那宽大的前额,一边慢慢地对我说:"西汉的司马迁撰写《史记》时,其实那些过去的历史,他并没有亲自经历过,但却写得那么有声有色,简直是一段历史一部戏。由此,你可看到太史公有多么丰富的想象力!"当时,钱老明亮的眼睛里闪动着喜悦而钦佩的目光。他是那么赞赏神奇的想象力,这给我留下深刻的印象。

钱老还对我说:"从事物整体关系的'形象'上抓事物的机理,这是科学研究中创新的老道理,英文称 heuristic reasoning;以别于逻辑推理。至于灵感,英文称 inspiration;书中实例更多了。您一定也早就接触过。

我们现在是说:这些实质上都是触类旁通,跨度越大,创新程度也越大。而这里的障碍是人们习惯中的部门分割、分隔,打不通。而大成智慧学却教我们总揽全局,洞察关系,所以促使我们突破障碍,从而做到大跨度的触类旁通,完成创新。"[19]

钱老认为,研究形象思维非常重要,它是研究思维科学的突破口,因为一旦把形象思维搞清楚了,前科学的那一大部分,别人很难学到的那些"只可意会,不可言传"的知识、经验、感受等,都可以挖掘出来了,这将把我们的智力开发大大地向前推进一步。同时,真正的形象思维应该是唯物辩证的思维,只有逻辑思维和形象思维结合得好,才能形成创造性思维。创造性思维是智慧的泉源。

(3)至于灵感思维这种艺术家常用的艺术思维方式,其突现好像颇具偶然性、经验性,"得来全不费功夫",只要"跟着感觉走,让梦牵着手"就行了。事实不然,需要的倒是积累广博的知识、丰富的经验,深稽博考、反复实践,经历"衣带渐宽终不悔"、"踏破铁鞋

无觅处"之后,才有可能与灵感小姐不期邂逅。

钱老说:"灵感思维是人们在生活中真有的,我自己就有过多次,解决了研究中遇到的难题。这都是在半梦半醒时发生的 现在我想:这是在正常清醒情况下,头脑中框框太多,阻碍大跨度的思维,所以要在半梦半醒中突破障碍,见到事理 但有一点必须明确:即灵感思维也是以人头脑中沉积的知识为基础的,如果没有人类的实践认识(自己的、他人告知的、书本上学得的),灵感思维也不能自天而降"。[20]

钱老特别强调:人的认识只能源于实践,自己的实践,或他人的实践而把其认知转告于我,或古人的实践通过书籍文字转告于我 不依靠实践,空想是得不到知识的。他主张灵感思维也应坚持辩证唯物主义的认识论。

灵感思维与潜意识甚至梦境有关,对于灵感(顿悟)产生机制的研究,钱老给我们指出了基本方向,这很重要。但还需要思维科学与人体科学的脑科学、心理学、生理学等多学科结合起来进一步综合考察,这是一个很难的课题。

4. 科学与艺术日趋融合相得益彰

其实,从思维活动来看,任何一位有文化素养的人,当他进行科学研究、科学实验或文艺创作、文艺活动时,都不可能单纯运用科学思维(逻辑思维)或单纯运用艺术思维(形象思维)去思考、去工作;而往往是把科学与艺术两种思维方式交织在一起使用,只不过在思考和工作的不同阶段、不同角度、不同层次上有所侧重罢了。目前,科学与艺术日趋融合,两种知识(量智与性智)、两种思维方式(科学思维与艺术思维),必须自觉地结合起来、相互促进,才能创新,否则将一事无成。

关于科学思维（逻辑思维）与艺术思维（形象思维）不可分离、及其在科学与艺术创作过程中的作用，钱老有如下精辟分析：

“从思维科学角度看，科学工作总是从一个猜想开始的，然后才是科学论证；换言之，科学工作是源于形象思维，终于逻辑思维。形象思维是源于艺术，所以科学工作是先艺术，后才是科学。相反，艺术工作必须对事物有个科学的认识，然后才是艺术创作。在过去，人们总是只看到后一半，所以把科学和艺术分了家，而其实是分不了家的；科学需要艺术，艺术也需要科学。两者要结合的道理在传统的手工艺品制作，现在的所谓‘工业设计’，即产品的造型美术设计等方面，是最清楚不过的了。”[21]

这里强调科学与艺术的结合，实际也是强调运用整体观和系统观，在处理各种复杂事物和人的问题时，既要弄清其微观的、细节的、量的准确变化，掌握好“度”，又要注意从宏观上、整体上，系统地把握其各层次、各因素、各方面质的变化与飞跃。不只搞还原论、“死心眼儿”，也不空谈整体论、浮于幻想，而是把微观与宏观、还原论与整体论、理论与实践、部分与总体有机地结合起来，从整体上观察和解决问题。

钱老和蒋英教授的结合可以说是科学与艺术的天作之合，他们在科学与艺术两大领域里，并不是“隔江相望”，他们始终是互相鼓励，互相促进，永远相依，堪称典范。钱老在回首往事时，常常提起和夫人蒋英共同度过的幸福而美好的生活，感谢她动人的歌声、她对音乐的深刻理解、她的艺术思维方式和浓厚的艺术气质，给了他在科学技术上的启迪与帮助。1991年10月16日，钱老在人民大会堂授奖仪式上的即兴演说就生动地说明了艺术对科技创新的作用。钱老说：44年来，蒋英给我介绍了音乐艺术，“这些艺术里所包含的诗情画意和对人生的深刻的理解，使我丰富了对世界的

认识，学会了艺术的广阔思维方法。或者说，正因为我受到这些艺术方面的熏陶，所以我才能够避免死心眼，避免机械唯物论，想问题能够更宽一点、活一点。”[22]

1999年7月10日，为了祝贺蒋英教授执教40周年，中央音乐学院专门召开了《科学与艺术》学术研讨会。在这次会上，蒋英老师的学生吴雁泽等热情赞扬了蒋老师把一切都无私地奉献给了音乐艺术事业的崇高品德，也赞扬她的艺术造诣很高，歌唱艺术的功底很深，具有广博的中外艺术与科学知识，并自觉地把艺术与科学结合起来，相辅相成，因而教学计划和教学方法特别科学，教学效果非常好。为祖国培养出许多优秀的歌唱家：如傅海静、祝爱兰、姜咏、赵登营、多吉次仁(藏族)、赵登峰等等，在国际声乐大赛中频频获奖，为祖国争得很高的荣誉。

也正是在这次大会上钱老不仅为蒋英教授送了大花篮，而且有一个书面发言，让女儿永真在会上代为宣读，略表心意。

钱老说：“我和蒋英结婚已52年了，这真是不平静的52年！在美国那段时间的风风雨雨不说，单就新中国的成立，抗美援朝，国内建设几个五年计划，中国研制“两弹一星”的成功，“文化大革命”，改革开放等等而言，在中国共产党和党的三代领导人的领导之下，新中国的面貌真是发生了翻天覆地的变化，令人感叹奋发！而在这段时间里，蒋英和我则在完全不同的领域工作：蒋英在声乐表演及教学领域耕耘，而我则在火箭卫星的研制发射方面工作——她在艺术，我在科技。但我在这里特别要向同志们说明：蒋英对我的工作有很大的帮助和启示，这实际上是文艺对科学思维的启示和开拓！在我对一件工作遇到困难而百思不得其解的时候，往往是蒋英的歌声使我豁然开朗，得到启示。这就是艺术对科技的促进作用。至于反过来，科技对艺术的促进作用，那是明显的

——如电影、电视等。

总之，在纪念蒋英教授执教40周年之际，我钱学森要强调的一点，就是文艺与科技的相互作用。”

钱老的兴趣很广泛，他不仅从事科学技术工作，参与组织领导研制、发射“两弹一星”，被誉为“中国的航天之父”，在许多科学技术部门里做出了开创性的独特贡献，拥有一个广阔无垠的科学世界，而且对文学艺术也有浓厚的兴趣，文艺理论、音乐、诗歌、绘画、书法、建筑、园林、工艺美术等等，他都深深地热爱着，用心体味着，并有许多独到的见解，拥有一个多姿多彩的艺术世界。

他很喜欢绘画，水彩画也画得相当出色。他喜欢音乐，会拉小提琴、会吹中音喇叭，音色沉静、柔美。无论是年轻时在美国的“火箭小组”和同伴在一起，还是以后和夫人蒋英在一起，他们的业余生活总是充满了艺术情趣，读古诗、听音乐、看书画展、游览名胜古迹、到海滨、放情于美丽的大自然。

有时钱老也唱唱歌。蒋英教授是我国杰出的声乐教育家，退休以后十几年来，每天上午义务为准备参加国际大奖赛的歌唱家和慕名而来的求教者上课。有一天午饭后，从楼上传来一曲西欧歌剧选段，歌声是那么高亢、圆润、抒情，且似有一种特别淳美动人的“水音”。工作人员寻思，上午来上课的那位著名男高音已经走了，什么时候又“闯”进来了一位男高音？便立刻上楼查看，不承想，迎面碰见80多岁的钱老正在笑眯眯地舒展歌喉。

钱老的艺术修养很深，只是由于祖国国防建设的需要，他没有更多的精力专门从事这方面的工作，但是他认为科学与艺术应该相互促进、涌现智慧、综合创新。他回顾自己70多年来学习与工作的历程就是以科学的哲学为指导，把理、工、文、艺结合起来走向大成智慧的过程。

钱老在给我的一封信里是这样写的：

“您是要写那篇大成智慧学的宏文，我现在为此提供点素材，供您采用

第一，讲讲我个人学习的过程。在20年代，我在北京师范大学附属中学上学，高中在理科，称二部（一部为文科）。当时学的是理、工结合的，一般数理化课之外，还有伦理学，也学过非欧几理德几何学，也学过工业化学。

30年代初入上海交通大学学机械工程（铁道门），基本上是工程课。但教电机工程的钟兆琳教授和教热力学的陈石英教授都非常重视理论根底。

30年代中期到美国MIT及CIT学习；MIT重在工；而CIT则强调理、工结合。我在CIT选修了不少理科课程，如微分几何、复变函数论、量子力学、广义相对论、统计力学等。博士论文也是用数理理论解决工程技术问题。后来十几年在MIT及CIT教学做研究，从薄壳理论、气动力学、火箭技术、到工程控制论、物理力学等，也都是理、工结合，用‘理’去解决‘工’中出现的新问题。

50年代中叶回归祖国，也是搞理、工结合的国防尖端技术，共20多年。

‘文化大革命’使我觉悟。感到只是理与工是不够的，不懂得社会科学不行，所以开始下功夫学社会科学，也涉及哲学。当然这时早已懂得只有马克思列宁主义毛泽东思想才是真理。

终于在80年代中叶，认识到：要建立以马克思主义哲学为最高概括的科学技术体系。

第二，讲讲我个人在研究问题中的创新过程。在30年代中期到40年代初，当我碰到疑难问题时，苦思不得其解，总是形象（直感）思维，甚至是灵感（顿悟）思维解决问题。这是说我头脑中框框

太多，不能从理论上触类旁通，得靠形象、甚至靠梦境。这种困境，后来逐渐缓解，不用做梦了，推敲一阵子就能看出问题所在。

但真正做到触类旁通是在懂得了科学技术以及知识体系之后。

第三，因此马克思主义哲学居于科学技术以及知识体系之首，才是触类旁通的钥匙。创造力来源于马克思主义哲学，而用这个观点看科学技术以及知识体系，就是大成智慧学。

……

第四，认知过程是无穷的，知识是无穷的。过程·历史·发展·前进，永无止境。我们现在知道的只是一小块，我们不知道的才是大海！

第五，既然马克思主义哲学是智慧的泉源；在一切阶级社会中，由于阶级斗争的影响，教育也有阶级性，所以不可能用大成智慧学来办教育。这是阶级社会的局限性！同时，这又是我们社会主义中国的优越性，我们可以自豪！

……

第六，我用了 70 年的学习才悟到以上道理，太长了！能不能用不到 20 年就学到？可以的。用人－机结合，用信息技术，用信息网络。第五次产业革命呵！”[23]

由此，他希望领导干部、科技帅才和年轻一代都要自觉地掌握马克思主义哲学，把理、工、文、艺结合起来，并广泛利用微电子信息技术、电子计算机、灵境技术、信息网络等，集古今中外知识、经验、信息、智慧之大成，群策群力，集思广益，成为有益于人民的、勇于创新的大成智慧者。

所谓帅才，就不只是一个方面的专家，他要全面指挥，就必须有广博的知识（哲学、科学技术、文艺）而且要能敏锐地看到未来的

发展，有开拓创新精神。关于怎样培养帅才，钱老于1991年末具体提出了五点建议：

（一）要学习马列主义毛泽东思想，因为马克思主义哲学是人类智慧的结晶。

（二）要了解整个科学技术，即要掌握现代科学技术体系中各大科学技术部门的发展情况，和世界科学技术发展的新动态，了解科学技术整体发展情况。

（三）要学习世界知识，如海湾战争，南斯拉夫内战等，要了解它的起因、历史，等等，这样才能迎接世界的挑战。

（四）要学习军事科学知识，也包括组织管理方面的知识和才能。

（五）学点文学艺术，它可以培养一个人从另一角度看问题，避免"死心眼"和机械唯物论。老一代革命家文艺修养都比较高，是我们的榜样。

当然，帅才还要身体健康。[24]

对于年轻一代的教育，凝聚着钱老的无限关爱与希望，他提出21世纪逐步实行"大成智慧教育"的设想，就是要人人大学毕业成硕士，4岁入学，德、智、体、美、劳五育齐发展，18岁毕业成硕士。这样的人才是全与专辩证统一的，他预言未来将掀起新一次的"文艺复兴"！

钱老对大成智慧学硕士的具体要求是："（1）熟悉科学技术的体系，熟悉马克思主义哲学；（2）理、工、文、艺结合，有智慧；（3）熟悉信息网络，善于用电子计算机处理知识。"[25]这三点，体现了大成智慧教育的丰富内涵，或许可以说，这是要求大成智慧学硕士在思维结构中应具备如下三个层次：

（一）知识层：它是由各种科学技术知识、信息、经验、感受（包

括现代科学技术的体系结构及体系中已纳人和尚未纳人体系的知识与经验)等要素构成的，是思维结构中最重要、最基础的层次。离开了各种知识、信息、经验、感受等要素，也就无所谓思维。这些要素与人—机结合的信息网络融通在一起，互相激发、碰撞、渗透、综合……，是思维得以活动与发展的前提和基础，是培育大成智慧的土壤。一般说来，知识层越坚实、越深厚、越丰富、越广阔，其思维的能力与品质就可能越高。

(二)情感层：它是由人们的价值观念、需要意识、精神、品德、意志、意向、情趣等等因素构成的，是思维结构中不可或缺的动力与调控层次。思维对象的选择、思维的动力、思维的效率与活力等，大体都受它们的影响与控制。马克思曾说："激情、热情是人强烈追求自己的对象的本质力量。"[26]爱因斯坦也说过："感情和愿望是人类一切努力和创造背后的动力。"[27]钱老认为，"科学就是追求真理。"伟大的科学精神、崇高的品德、高度的爱国热忱、集体主义和严格的组织纪律性，往往是认识世界和改造世界的无限力量。而理、工、文、艺结合起来，既有渊博的学识又汇通科学精神与人文精神，将会使人们迸发出巨大的热情和威力。这是文化艺术素质的核心。也是大成智慧的灵魂。

(三)智慧层：它是以知识层和情感层的整体综合为基础的，是由唯物辩证的世界观、人生观、方法论、思维方式以及现代科学技术体系观、开放复杂巨系统的系统观、人—机结合的思维体系等基本要素相互促进、相互交融、有机地建构在一起的，是思维结构中最深刻、最复杂、最富于哲理的层次。这个层次的构筑要求：主要是从实际出发，把哲学和科学技术统一结合起来，把科学与艺术结合起来，把逻辑思维与形象思维结合起来，灵活有效地运用各种科学技术知识与经验。这样，才有可能真正集古今中外知识之大成，

获得大成智慧与创造的灵感，有所开拓、有所创新。

1997年，钱老在对科学与艺术、逻辑思维与形象思维、哲学与科学技术以及微观与宏观等进行综合思考以后，更为明确地阐述了“大成智慧”的实质与核心。他说：“我想我们宣传的‘大成智慧’……就在于微观与宏观相结合，整体（形象）思维与细部组装向整体（逻辑）思维合用；既不只谈哲学，也不只谈科学；而是把哲学和科学技术统一结合起来。哲学要指导科学，哲学也来自科学技术的提炼。这似乎是我们观点的要害：必集大成，才能得智慧！”[28]

钱老不仅是中国的航天之父，他还在系统科学、思维科学、人体科学、地理科学、军事科学、社会科学、建筑科学、航天技术以及科学的哲学等多方面有着开拓性的、独创性的杰出贡献。

他是一位了不起的大科学家，战略思想家。他把自己全部智慧、全部情和爱都献给了祖国和人民，他的科学思想、科学精神和他的崇高品德永远值得我们学习，薪火相传，发扬光大。

参 考 文 献

1 钱学森：1993年7月8日给钱学敏的信。

2 钱学敏：《试论钱学森的“大成智慧学”》，《首都师范大学学报》，2001(3)，第11-23页。

3 钱学森：2000年3月18日给钱学敏的信。

4 钱学森主编：《现代科学技术和科学政策》，中共中央党校出版社，1993，第80页。

5 钱学森等著：《论系统工程》（修订本），湖南科学技术出版社，1988，第259页。

6 《中国科技画报》，中华人民共和国科学技术部编辑出版，1999(7)，第8页。

7 钱学森：1995年1月2日，给王寿云、于景元、戴汝为等人的信。

8 钱学森:1995年11月5日 给刘为民的信。
9 钱学森著:《科学的艺术与艺术的科学》,人民文学出版社,1994,第126页。
10 钱学森著:《科学的艺术与艺术的科学》,人民文学出版社,1994,第126页。
11 钱学森著.《科学的艺术与艺术的科学》,人民文学出版社,1994,第180—191页。
12 钱学森著:《科学的艺术与艺术的科学》,人民文学出版社,1994,第200页
13 钱学森著:《科学的艺术与艺术的科学》,人民文学出版社,1994,第1—2页
14 钱学森·1993年7月18日,给钱学敏的信。
15 钱学森著:《科学的艺术与艺术的科学》,人民文学出版社,1994,第53页
16 钱学森著;《科学的艺术与艺术的科学》,人民文学出版社,1994,第53页。
17 钱学森:《专家系统与思维科学》《人体科学与现代科技发展纵横观》,人民出版社,1996,第413—414页。
18 《爱因斯坦文集》第1卷,商务印书馆,1977,第284页。
19 钱学森:1994年2月13日给钱学敏的信。
20 钱学森:1994年2月13日给吴远的信。
21 钱学森:1995年11月5日给刘为民的信。
22 钱学森:《在授奖仪式上的讲话》,人民日报1991 10.17,第1,3版。
23 钱学森:1994年2月7日给钱学敏的信,
24 钱学森:《我们要用现代科学技术建设有中国特色的社会主义》(1991年11月5日),见《九十年代科技发展与中国现代化系列讲座》,湖南科技出版社,1991,第23页。
25 钱学森:1993年10月7日给钱学敏的信。
26 《马克思恩格斯全集》第42卷,人民出版社,1979,第169页。
27 《爱因斯坦文集》第1卷,商务印书馆,1977,第279页。
28 钱学森:1997年4月6日给钱学敏的信。

第 15 章　钱学森与辩证唯物主义

钱学森同志是我国杰出的科学家，他不但对中国高科技的发展发挥了巨大作用，在世界科学界也享有崇高的声誉。就是这样一位一直活跃在科学发展前沿的科学家，自觉地信奉辩证唯物主义，这当然同他的政治立场的转变有关，但更重要的是由于他对人类科学体系和科学史的正确理解。正如列宁在 20 世纪初谈论现代物理学与辩证唯物主义的关系时所说的："现代物理学是在临产中。它正在生产辩证唯物主义。"[1] 钱学森同志的辩证唯物主义思想虽然不是由他独创地从现代科学中概括出来的，而是通过马克思主义的中介，但它在现代科学中有其深厚的基础确实是非常明显的。现在我国哲学界对辩证唯物主义的评价分歧甚大。我想，听一听这位杰出科学家如何看待辩证唯物主义，一定会给我们很多发人深省的启发。

我本来想充分搜集钱学森同志的哲学言论，加以深入系统地研究，全面论述他关于辩证唯物主义的观点，但由于种种原因，现在只能讨论他的现代科学技术体系与辩证唯物主义的关系，并在他的观点的启发下来评价一下近年来关于辩证唯物主义的错误观点。

15.1 世纪之交一股强劲的否定辩证唯物主义世界观的思潮

在这世纪之交，我国马克思主义哲学——辩证唯物主义与历史唯物主义的命运受到广泛的关注，许多哲学家或在会议上发言，或写作文章，来反思它的过去，考察它的现在，展望它的未来。人们发表了十分不同的意见，其中不乏根本否定马克思主义哲学，特别是辩证唯物主义世界观的观点，辩证唯物主义世界观几乎成了许多观点围攻的中心。他们把辩证唯物主义与历史唯物主义叫做正统的或官方的马克思主义哲学、传统的即非现代的马克思主义哲学、讲坛哲学、教科书哲学、教条主义哲学、僵化哲学体系等等。他们立论的根据是什么呢？概括起来，大致有：

（一）辩证唯物主义不是马克思的哲学。他们认为，马克思没有称自己的哲学为辩证唯物主义，有的人认为辩证唯物主义是斯大林的哲学体系，有的人承认它是恩格斯的哲学和列宁的哲学。那么，马克思的哲学是什么呢？有各种回答：或是实践唯物主义，或是实践哲学，或是人本主义，或是实践人本主义，或是辩证方法，或仅仅是历史唯物主义。现在流行着一个口号：回到马克思，或是走近马克思。有的人是强调要挖掘马克思的论著中过去忽视了的思想，但对有的人来说，其潜台词是：恩格斯以来，离马克思越来越远了。有的人说的马克思实际是青年马克思，按照这种理解，《共产党宣言》发表以来，马克思离他自己也越来越远了。

（二）辩证唯物主义已经远远落后于时代的发展。他们认为它是19世纪末期和20世纪初期的哲学，七八十年以来世界形势已经大大改变了。它也没有反映20世纪、特别是二战以后的科技革

命。现当代西方哲学也有了很大的发展，比较起来，现当代西方哲学是同时代的发展相适应的，而辩证唯物主义和历史唯物主义是与时代的发展格格不入的。那么，有些什么地方格格不入呢？根据近期发表的文章，有种观点甚为流行，即认为西方哲学史已经有了几次形态转换，而辩证唯物主义还停留在本体论形态。关于西方哲学史有几次研究对象、研究方向、表现形态的转换的观点，谈的人很多，说法各异。一种观点认为，古代的哲学是本体论，近代的哲学是认识论，现代哲学是实践论，当代哲学是人学。另一种观点认为，古近代哲学的思维方式是主客二分，现当代哲学的思维方式是主客统一。第三种观点认为，古近代哲学研究实体，现当代哲学研究关系。马克思的哲学属于现当代，而辩证唯物主义和历史唯物主义属于近代。第四种观点认为，辩证唯物主义见物不见人，而现当代哲学的研究对象离不开人，马克思虽然自称是唯物主义者，却不属于见物不见人的辩证唯物主义。在哲学转向的思想影响下，有不少人认为哲学的对象不再是作为一个整体的客观的物质世界及其一般规律，而是人与世界的关系，有的人说哲学的对象是主体和客体的关系，或者说是知识，或者说是实践，或者说是人或属人世界。还有的人认为，马克思主义哲学的对象是人类社会的历史，它只是唯物史观。有的人认为，马克思主义哲学的对象是思维方式，它就是方法论。总之，马克思主义世界观——辩证唯物主义是难以继续存在下去的，它已经过时了。

（三）哲学不是知识，不可能成为科学，而是个性化的思想意识。在他们看来，哲学根本不是科学。科学是有客观标准的，因而是能达到共识的。马克思主义哲学自认为是科学，要求人们在哲学思想上达到尽可能的共识，这是与科学的根本性质相违背的。

持以上观点的学者都自认为是马克思主义者，有的是改革开

放以来崭露头角的中青年哲学家，有的是从事马克思主义哲学的研究和教学工作数十年的资深学者、教授。这种现象在贯彻“双百方针”和开展学术研究的过程中出现是正常的，甚至可以说是不可避免的。但是，我认为马克思主义理论界也不能对这种现象采取放任自流的态度，不予理睬，而应该辨明是非、澄清混乱，使马克思主义哲学能够适应时代的发展而健康地发展。我近年来，确切地说十多年来，就在从事这一工作。一方面同我认为是错误的观点争论，一方面反省辩证唯物主义和历史唯物主义本身原有的缺点和问题，分辨它的观点哪些是正确的，应坚持，哪些过时了，应改变或否定，以便在条件成熟的时候建构马克思主义哲学的新形态。在这过程中我对钱学森同志的哲学思想，特别是他对辩证唯物主义的态度和观点，有所了解。他的思想使我受到极大的鼓舞和启发。他并没有参与哲学界的争论，没有全面回答和分析那些否定辩证唯物主义世界观的观点，但他的思想确实对那些否定辩证唯物主义世界观的观点，特别是对辩证唯物主义过时论，从科学技术革命的角度，树立了一堵难以超越的铜墙铁壁。我没有系统研究过钱学森同志的哲学思想，下面只是就我所了解的他的有些辩证唯物主义的言论，特别是他如何规定辩证唯物主义在他的现代科学技术体系中的位置，谈谈我受到了哪些启发。

15.2 钱学森同志现代科学技术体系中辩证唯物主义的位置

科学发展到今天，人们几乎已达成了一个共识：由于整个宇宙是一个系统，对这个宇宙的分门别类的研究，即不同层次和不同领域的科学，也应该是一个通过各式各样直接或间接的复杂的联系

而形成的体系，实际上随着科学的发展也正在形成一个体系　从这个意义讲，多门科学成了一门科学。马克思在一百多年前已经提出过一门科学的思想，今天可以说多数人已经认可这个思想。科学家们或哲学家们已经提出过多种科学体系来表现宇宙这个系统，钱学森同志提出的现代科学技术体系是其中很有特色的一个。

钱学森同志从现代科学技术的发展情况出发，把科学技术分为十一大部门，即自然科学，社会科学、数学科学、系统科学、思维科学、人体科学、军事科学、行为科学、地理科学、建筑科学和文艺理论。除文艺理论外，每一部门又分为三个层次：基础科学、技术科学和工程技术。这种分类是发展的，将随着科学情况的发展而发展变化。实际上，在钱学森同志那里已经有过多次变化，最初曾提出过四大部门，后又提出过九大部门、十大部门，原来没有建筑科学，现在加上了。[2]

这种分类体现了钱学森同志对现代科学技术情况的独特的理解。特别令人感兴趣的是他用什么方式来表达现代科学技术的统一性，他采取的方式就是用辩证唯物主义及其11个部门哲学来把这11门类科学联系成为一个整体，这样这个现代科学技术体系就呈现出三个层次：第一个层次是辩证唯物主义，第二个层次是自然辩证法、唯物史观、数学哲学、系统论、认识论、人天观、军事辩证法、社会论、地理哲学、建筑哲学和美学；第三层次是前面列举的11门科学。钱学敏教授给我提供的一封书信中，钱学森同志把社会论改为人学，以与行为科学相对应。第二层次与第三层次一一对应，成为第三层次与辩证唯物主义的桥梁。如图所示：

从这个科学技术体系我们可以看出钱学森同志把辩证唯物主义世界观摆到科学技术的顶尖地位，不仅是哲学的核心，实际上成了整个科学技术体系的核心。

哲学	辩证唯物主义										
	自然辩证法	唯物史观	数学哲学	系统论	认识论	人天观	军事辩证法	人学	地理哲学	建筑哲学	美学
基础科学	自然科学	社会科学	数学科学	系统科学	思维科学	人体科学	军事科学	行为科学	地理科学	建筑科学	文艺理论
技术科学											
工程技术											

15.3　钱学森同志的现代科学技术体系的哲学内涵

从钱学森同志在他的科学技术体系中如何安排哲学的位置，特别是辩证唯物主义世界观的位置，我们可以引申出以下一些哲学思想。

第一，哲学，确切点说，马克思主义哲学，即辩证唯物主义及其部门哲学，是科学技术体系的成员，它们都具有真理性，即科学性。哲学与科学并无本质区别，它们的差别不过是科学与科学间的差别，即研究对象和对象层次间的差别。钱学森同志明确地说："把马克思主义哲学放在科学技术体系的最高层次，也说明了马克思主义哲学的实质：它绝不是独立于现代科学技术之外，它是和现代科学技术紧密相连的。"[2]

第二，辩证唯物主义是世界观，辩证法是世界观的一部分，认识论和唯物史观是部门哲学。哲学界的流行说法是：马克思主义

哲学是辩证唯物主义和历史唯物主义，而辩证唯物主义和历史唯物主义是共产党的世界观和方法论。还有些人认为哲学就是认识论，也有些人认为马克思主义哲学就是唯物史观。这些说法都是不确切的。这种混乱，我认为可能是由于"哲学"这个含糊不清的名称引起的。科学都是以对象命名的，可以顾名而思其对象。而哲学则否，这就给随意理解其对象提供了可能。按其内容加以分析，辩证唯物主义和历史唯物主义可分为三部分：辩证唯物主义包含世界观和认识论，历史唯物主义即历史观，因此，笼统称之为世界观是不确切的。称之为方法论更不确切。方法论应该是以方法为研究对象的科学，但辩证唯物主义和历史唯物主义中并没有这个内容，有的是方法，即原理的应用。方法与方法论不是一回事。辩证唯物主义与历史唯物主义被称为方法论可能与其中的辩证法部分有关，辩证法首先不是方法而是理论。Dialectics 一律译为辩证法是不确切的，辩证法作为方法可以译为辩证法，但作为客观规律应译为辩证律；作为理论，应译为辩证论。我并不主张改变习惯译法，但应有正确的理解。我认为钱学森同志的科学体系的安排是科学的。看来，他是从科学的研究对象出发来作此安排的。他把认识论、唯物史观与辩证唯物主义区别开来，把辩证唯物主义视做最高层次的世界观，而把认识论与唯物史观作为部门哲学，视做辩证唯物主义世界观与思维科学、社会科学的联系的桥梁。这样，他所说的辩证唯物主义在内容上已不同于一般教科书所说的辩证唯物主义，而只是唯物主义的辩证的世界观。

第二，部门哲学是辩证唯物主义与一切科学技术的联系的桥梁，辩证唯物主义通过部门哲学而从科学技术汲取丰富和发展自己的营养，而各门科学技术则通过部门哲学从辩证唯物主义取得认识世界和改造世界的一般方法，即哲学的思想指导。这个科学

体系实际是一个多层次的金字塔式的体系，每一基础科学又包含若干层次的部门科学和交叉科学，使之成为一个以辩证唯物主义为塔尖的、上部数量较少而一般性强、下部数量较多而特殊性强的、各种科学和技术纵横交错的有机整体。要用一个理论体系或一个图表来完整地严密地描绘出客观存在的现代科学技术体系是很困难的，但钱学森同志的关于现代科学技术体系的思路是科学的，符合实际的，它有利于克服分门别类的研究和职业分工所带来的只分不合、孤立片面的思维方式，更有利于克服把哲学排斥于现代科学技术之外的错误倾向。钱学森同志明确指明了哲学与科学技术的这种互相依赖和互相推动的关系，他说："哲学作为科学技术的最高概括，它是扎根于科学技术中的，是以人的社会实践为基础的；哲学不能反对也不能否定科学技术的发展的，只能因科学技术的发展而发展，不然岂不僵化了吗？"[3] 又说："在本世纪杰出的理论物理学家如A. 爱因斯坦和W. 包利，尽管有他们的局限性，都对自然辩证法的发展作过贡献。"[3] 这是一方面，另一方面则是马克思主义哲学的指导作用，他说："马克思主义哲学作为科学技术的最高理论，就必须用来指导科学技术的进一步发展。……自然科学、数学、以及技术科学、工程技术都必须以自然辩证法为指导。"[3] 后来他在《社会主义现代化建设的科学和系统工程》一书中对马克思主义哲学与科学技术的关系有一段全面的完整的论述，他说："所有的科学技术工作，自然科学、社会科学、技术科学、数学、工程技术，不用马克思主义的哲学来指导，或者不重视马克思主义的哲学对于科学研究的指导作用，是危险的。我们一方面必须认为马克思主义哲学本身是要发展的，它要随着人类社会实践的积累而发展　发展了的自然科学、社会科学、数学、技术科学、工程技术，又影响马克思主义哲学的发展。另一方面，我们也必须承

认马克思主义的哲学在任何时候都对于科学技术的发展有指导的意义。这就是理论和实践的辩证的关系。科学技术的整个体系包括哲学。六个组成部分,随着社会实践的发展还会有变化。"[4]

第四,哲学通过现代科学技术体系而与人类的认识活动和实践活动以及外部客观世界相联系,这种联系是间接的,但在一定情况下也可以产生直接的联系。有的人认为哲学是虚无缥缈、脱离实际的纯思辨的东西,也有人不否定它同实践活动和外部世界的联系,但这个联系仅仅是间接的,不是直接的,因而无法用实践来检验哲学命题的真理性。但钱学森同志的整个现代科学技术体系,包括哲学,都是建立在实践及其经验的基础上,是整个客观世界的反映,其中任何一个部分归根结底都应以实践来检验,这种检验有的是间接的,有的是直接的,但很难讲有一部分仅仅是间接的而不可能是直接的。钱学森同志认为:"马克思主义哲学,辩证唯物主义是人类知识的最高概括,""也是人的一切实践的概括。"[2]钱学森同志在给钱学敏教授的一封信中指出,马列主义要发展,决不能脱离实践,他提出:"一、要联系实际,多做社会调查。二、要知道今日社会科学和自然科学、工程技术的新进展,多与第一线的人交流讨论,也可取参加科技新发展的研讨会,多多吸取营养。三、对中国古代哲学思想也要取其精华,不能盲目崇古!四、一定要分清是非,不能跟洋人跑,搞'西化'。"这些意见我认为对今天坚持和发展马克思主义哲学的工作是有很大的启发意义的。钱学森同志十分重视解放思想,开拓创新的,但他并不主张怀疑一切,他说:"科学是无禁区的,但首先要看那个'禁区'的区存在不存在。"[3]他举例说,"有限宇宙"、永动机都是海市蜃楼。这话对于那些不要坚持只要发展的人是一个忠告。

我认为,钱学森同志自己所表述的哲学观点和我从他的科学

技术体系中所引申出来的哲学观点，同我前面所介绍的那些错误观点，是不相容的。他没有直接涉及哲学转型论，但按照他所了解的马克思主义哲学，世界观（本体论）、认识论、历史观、人学都是哲学家族的成员，没有谁取代谁的问题，它们同时存在，各不相悖。他的观点同辩证唯物主义过时论是根本对立的。在他那里，辩证唯物主义的身分（世界观）明确了，不但没有过时，而且永不会过时，虽然它要不断发展，但已与人类的科学和实践结下了不解之缘。至于哲学非知识论，其谬误更是显而易见的。如果哲学不是知识，不是学科，而是个性化的思想，它们还能成为现代科学技术体系的成员吗？经过这一番简短的考察，我的最后结论是：哲学家们，尤其是马克思主义哲学家们，听一听科学家们的声音吧！

作者附言：本章在写作时，承蒙中国人民大学钱学敏教授提供了部分资料，特别是钱学森同志给她的私人信件，并允许引用其中部分言论，特此致谢！

参考文献

1 《列宁选集》第2版第2卷，1995，第216页。

2 参阅钱学敏：《试论钱学森"大成智慧学"》，《首都师范大学学报》，2001(3)，第11－23页。

3 钱学森：《科学学、科学技术体系学、马克思主义哲学》，《哲学研究》，1979(1)，第20—27页。

4 钱学森：《社会主义现代化建设的科学和系统工程》，中共中央党校出版社，1987年，第111页。

第 16 章　钱学森：科技界的一面旗帜

——思想、品德、情操

钱学森是我国著名的科学家。1991 年，在授予他“国家杰出贡献科学家”荣誉称号时，国务院、中央军委的命令是这样评价钱学森这一生的成就和人品的：“钱学森同志是我国著名科学家。他早年在空气动力学、航空工程、喷气推进、工程控制论等技术科学领域做出过许多开创性的贡献。1955 年 9 月，在毛泽东、周恩来等老一辈无产阶级革命家的关怀下，他冲破重重阻力，离开美国回到社会主义祖国。1959 年 8 月，他光荣地加入了中国共产党。数十年来，他以对祖国、对人民的无限热爱和忠诚，满腔热忱地投身于我国国防科研事业，为我国火箭、导弹和航天事业的创建与发展做出了卓越的贡献。他潜心研究的工程控制论，发展成为系统工程理论，并广泛地运用于军事运筹、农业、林业，乃至整个社会经济各个领域的实践活动，在我国现代化建设中发挥了重要作用。在发展系统工程理论与实践方面，他是我国科技界公认的倡导人。他一贯努力学习马克思列宁主义、毛泽东思想，坚持运用马克思主义哲学理论指导科学活动。他热爱中国共产党，热爱社会主义祖国，热爱人民，充分体现了新中国知识分子的高尚品德，他是我国爱国知识分子的杰出典范。”

本文将重点介绍钱学森是怎样成长为一名著名科学家的，以

及他作为一名科学家所具备的崇高品德。

16.1　良好的家庭与学校教育

钱学森出生在一个知识分子家庭。父亲钱均夫曾在日本留学历史、地理和教育,民国时期在教育部任职。他懂得现代教育,从小就没让钱学森读私塾,而是接受正规的现代教育。钱学森3岁时随父母进京,到北京后他上过蒙养院(幼儿园),女师大附小(今北京市第二实验小学)、师大附小(今北京市第一实验小学)和师大附中。

这里我要专门说一下师大附中。

在那个时代,北京师大附中的高中文、理分科,钱学森读理科。他后来认为师大附中的教育对他日后的成长有重大影响,是他一生之中难忘的一段经历。钱学森曾回忆说,师大附中的校长林砺儒(当时称主任,解放后曾任教育部副部长),制定了一套以启发学生兴趣和智力为目标的教学方案,很有成效。学生们平时都很自觉,该学习的时间专心学习,该玩的时间就尽情玩耍,从不在临考前加班突击。钱学森每次考试虽名列前茅,但并不刻意追求满分。能考80分以上的就是好学生,但这80分是真正学到的,扎扎实实的知识。化学老师王鹤清,让钱学森自由地到化学实验室做各种实验,这启发了他对科学的兴趣。国文老师董鲁安,在课堂上除了讲授语文知识以外,还常常用较长时间讨论时事,表示厌恶北洋军阀政府,憧憬国民革命军北上(后来他去了解放区)。他的教育使钱学森产生对旧社会腐败的深切不满和对祖国前途、人民命运的无比关心。几何老师傅种孙那时已是北京师范大学数学讲师,在中学课堂上把道理讲得很透。钱学森后来认为,在中学听傅老师

的几何课,使他第一次得知什么是严谨的科学。而生物老师俞谟(新中国成立后改名俞君适,是江西南昌大学生物系教授)常常带他们到野外采集生物样品,制作生物标本。他培养了钱学森较为广泛的科学兴趣。钱学森对老师们的教诲感激不尽,他后来说:"我能为国家为人民做点事,也是与中小学老师的教育分不开的!"

钱学森的父亲对年幼的儿子管教十分严格而又得法,从小培养他良好的学习和生活习惯。每天按时起床就寝,按时复习功课和休息。出门上学一定要衣着整洁,书包整理得井井有条。回家后衣帽、鞋袜、书包放在什么地方,都有一定规矩,不能乱来。这对钱学森后来在科学事业上严谨仔细、井井有条、一丝不苟作风的形成是有一定影响的。钱学森兴趣广泛,知识渊博,也得益于他父亲从小的启蒙培养。每逢寒暑假,钱均夫都要送儿子拜名师补习各种功课。钱学森那时业余学习过伦理学、音乐、绘画等。伦理学由林砺儒校长亲自授课。钱学森说,他的课讲得好极了,完全是从唯物史观来讲伦理学的;美术老师高希舜是毛主席的朋友,被称为一代国画大师。钱学森的一幅画作曾得到他的赞赏,可惜抗日战争时期丢失了。

这么优越的条件,加上钱学森聪慧好学,又爱博览群书,使他后来不仅在自然科学技术,而且在社会科学,甚至文学艺术等方面都有很高的修养。这些知识同时又启迪了他在科学上的创新。

1929年中学毕业后,钱学森为复兴祖国,决心学工科,考入上海交通大学机械工程系,名次第三。钱学森说,他在上海交大第一年基本上是玩过去的,因为所学功课的大部分,如解析几何、微积分、大代数、非欧几里德几何、有机化学、工业化学、第二外语德语等,在师大附中时都学习过了。当时上海交大专重考试分数,学期终了平均分数计算到小数点以后两位数,大家都为分数而奋斗。

那时交大的多数学生分成“北京师大附中派”和“江苏扬州中学派”,都是出类拔萃的尖子,在学习成绩上互相竞赛,各不相让。犹如划船比赛一样,这次“北京派”领先,下次“扬州派”一定要得胜。初人交大的钱学森,对这里的“分数战”虽不甚满意,但也不甘落后,非考90分以上不可。钱学森的考卷总是书写工整,清洁漂亮,连等号(=)都像用直尺画的一样,中英文字写得秀丽而端庄,深得各科老师的赞赏。一次水力学考试,所有试题钱学森全部正确完成。试卷发下来,他发现有一个不起眼的笔误(在运算过程中将“Ns”写成了“N”),老师判卷时未注意到。他立即举手发言,指出自己的错误,并把考卷退给老师。交大当时判卷打分非常严格,老师为这一小错扣了他4分。于是这份96分的水力学考卷被留在了学校,并保存下来。不曾想几十年后,钱学森成为世界著名科学家,这份考卷也成了学校的一份珍贵历史档案,1996年在上海交通大学的百年庆典上展示出来。

16.2　广泛而坚实的科学技术基础

1934年钱学森从上海交大毕业,并考取了清华大学留美研究生。1935年8月,钱学森从上海乘船出国,到美国麻省理工学院(MIT)航空系。钱学森这才发现,他的母校上海交通大学完全是按照当时麻省理工学院的模式办的,连教学和实验大纲都一样。所以钱学森对这里的学习环境一点也不感到生疏,学习起来游刃有余。但生活上他却有些不习惯,特别是某些美国人瞧不起中国人的傲慢态度令他生气。一次,一个美国学生当着他的面耻笑中国人抽鸦片,裹脚,愚昧无知等,钱学森立即向他挑战说:“我们中国作为一个国家,是比你们美国落后;但作为个人,你们谁敢和我

比，到学期末了，看谁的成绩好？”美国人听了都伸舌头，再也不敢小看中国人了。经过努力，他只用一年时间，就拿下了航空硕士学位，而且成绩比同班的美国及其他外国人都好。一次有位教授出了一道很复杂的动力学题，大家都做不出来。一位中国留学生叶玄去请教钱学森，他做了一个巧妙的转换，将这一复杂运算变成了一个简单的代数问题，此题便迎刃而解了。叶玄后来留在美国做科研工作，是台湾中央研究院的外籍院士。1989 年叶玄先生回国，再次见到钱学森时，问他当时怎么想得那么巧：“这么复杂的运算，到您手里就变得那么简单了？”钱学森淡然一笑说：“那算不得什么，小技巧而已。”另一次，有位教授出了一份很难的考卷，全班大部分人不及格。这在学生中引起了很大的不满，大家认为这样的考试对他们是不公平的，这位教授在有意使他们难堪。经过讨论和酝酿，一部分学生决定去找教授说理。当学生们来到教授的办公室门口时，却发现钱学森的试卷贴在门上。卷面用钢笔书写得工整清洁，每一道题都完成了，而且没有任何错误，没有任何圈改和涂沫的痕迹！前来评理的学生一下子泄了气，不敢再去找教授了。

1936 年，钱学森转学来到加州理工学院(CIT)。这所学校强调理工结合，培养的学生既是科学家，又是工程师，钱学森就是在这种环境下成长的。他是航空系的研究生，但数学系的课他去听。当时数学的前沿，如复变函数等他都进修了。钱老曾说，他在加州理工学院打下了数学基础，以后数学的进展他都能跟上。物理系的课，如量子力学、相对论等他也进修了。甚至化学、生物学的有些课他都去听。他听诺贝尔化学奖获得者 L. 鲍林的量子化学课，并和鲍林探讨化学的发展，二人成为好友。就这样，钱学森在加州理工学院读研究生期间，就奠定了坚实而又广泛的数理化基础。

在加州理工学院他还参加火箭小组的研制工作。他领导设计并组织实施了加州理工学院小型高速风洞的建造。所以,他同时又积累了丰富的工程经验,使他真正成为一个名副其实的"科学家+工程师"。

16.3　名师的指导　宽松民主的学术气氛

钱学森在加州理工学院拜世界力学大师冯·卡门为师。钱老说,冯·卡门这个人对物理现象有敏锐的洞察力,他总能抓住事物的本质,给你指出研究方向。而冯·卡门则认为钱学森"很有想像力,他善于将自然现象中的物理图形直观化,并将这种能力与他的数学天赋很好地结合起来。尽管他还是个青年学生,但已能在一些很难的课题上帮助我澄清自己的一些想法,这样的天才是不多见的"。冯·卡门原在德国哥廷根(Güttingen)大学执教,他来美国,把欧洲哥廷根学派的良好学风带到了美国。他每周主持召开一次研究讨论会(research conference)和一次学术研讨会(seminar)。这些活动强调学术民主,不论是专家权威,还是普通研究生,大家一律平等,都能畅所欲言,发表自己的学术论点。这给年轻的钱学森提供了锻炼创造性思维的良好机会。在一次学术讨论会上,钱学森刚刚念完自己的论文,就有一位长者站起来提出不同意见。钱学森不同意他的观点,两人一时争论起来,面红耳赤。事后冯·卡门问钱学森:"你知道你是在和谁争论吗?那是大权威冯·米赛斯(von Mises)。但是,你的意见是对的,我支持你"。在另一次学术讨论中,钱学森却和他的老师冯·卡门发生了争论。他坚持自己的观点,毫不退让,令冯·卡门十分生气。他把钱学森拿给他看的论文稿往地上一丢,拂袖而去。老师走后,钱学森默默拾起稿纸,但

他内心并未屈服，在科学问题上，他绝不会轻易放弃自己的观点。事后这位世界大权威经过思考，认识到在那个问题上，他的学生是对的。于是第二天一上班，他便亲自爬了三层楼梯，来到位于三楼一个旮旯的钱学森小小的办公室，敲开门，恭恭敬敬给钱学森行个礼，然后说："钱，昨天的争论你是对的，我错了。"冯·卡门的博大胸怀令钱学森十分感动，并终生不忘。他回国后，一直极力倡导在学术上要发扬民主，并身体力行。

16.4 爱国知识分子的典范

20世纪40年代末，在他获知祖国即将解放的时候，是不惜冒着生命的危险力争回国的。所以在这里，我要较为详细地介绍他回归祖国的艰辛而又曲折的历程。

早在1947年钱学森回国探亲期间，国民党政府就通过胡适出面，邀请钱学森回国出任北京大学校长或上海交通大学校长等职，被钱学森拒绝。他后来说，在当时那种形势下，他不愿回来为国民党装点门面。但到1948年，祖国的解放事业胜利在望，钱学森便开始准备归国。为此他首先要求退出美国国防部空军科学咨询团，但直到1949年才得以实现。他兼任的美国海军炮火研究所顾问的职务，也是到1949年秋才辞去的。

1949年5月20日，钱学森收到美国芝加哥大学金属研究所副教授研究员、留美中国科学工作者协会（简称留美科协）美中区负责人葛庭燧（曾任中国科学技术大学教授，刚去世不久）写来的信，他在信中同时转来1949年5月14日曹日昌教授（中共党员，当时在香港大学任教）写给钱学森的信，转达即将解放的祖国召唤他返国服务，领导新中国航空工业建设之切切深情。这时钱学森还看

到周培源给林家翘的信,得知解放前夕解放军占据北京西郊的良好境况。也见到在加州理工学院当研究生的罗沛霖(曾经以非党技术人员身份在延安工作过),他认为钱学森回国为解放了的祖国服务的时候到了。钱学森遂加紧回归祖国的准备,以便实现他多年的夙愿。他对妻子蒋英说:"祖国已经解放,我们该回去了。你现在正怀孕,行动不便,等孩子生下来,我这个学期的书刚好教完,那时我们就回祖国去。"

但这时美国正值麦卡锡主义横行,全国掀起了一股要雇员们效忠政府的歇斯底里狂热。几乎每天都发生对大学和其他机构进行审查或威胁性审查的事件,加州理工学院也未幸免。20世纪30年代,钱学森由F.J. 马林纳介绍,曾参加过当时加州理工学院的马列主义学习小组,也结识该小组的书记、化学物理助理研究员S. 威因鲍姆(Weinbaum)。小组曾学习过恩格斯的《反杜林论》;每星期例会常讨论时事,主题是反法西斯和人民阵线;小组还参加过美国共产党书记E. 白劳德(Browder)的几次讲演会。这时马林纳已逃到法国,威因鲍姆被捕下狱,于是怀疑落到钱学森头上。

1950年6月,两名美国联邦调查局的人来到钱学森的办公室,说钱学森30年代在加州理工学院的几位朋友都是共产党员,而威因鲍姆家的聚会实际上是共产党的小组会议。在1938年小组的一份成员名单里,有一个叫约翰·德克尔(John Decker)的名字。于是,他们指控钱学森化名约翰·德克尔,是共产党员,属非法入境。他们还要求钱学森提供证据,指证威因鲍姆是共产党员。钱学森义正严词地驳斥了这些指控,说他从没有听说过约翰·德克尔这个名字。钱学森更不愿为联邦调查局作证,指控威因鲍姆是共产党员。当年联邦调查局的报告这样写道:"钱学森说,作为一名科学家,他只能根据事实来判断一个人的价值或忠诚,这些模糊

的事实无法确认一个人的忠诚或政治信仰，据此，他无法对别人进行臆测”。钱学森的强硬态度使美国当局大为恼火，1950 年 7 月，他们取消了钱学森参加机密研究的资格，移民局要驱逐(deport)他出境。钱学森当即决定以探亲为名回国，并订了飞往香港的加拿大太平洋航空公司的机票，准备一去不返。蒋英则雇了一家包装公司，将他们的家具行李，特别是书籍和资料打包装箱，准备托运回国。但是，美国国防部认为钱学森太有价值了，他们不能放他回共产党的中国。美国五角大楼(即国防部)海军部副部长金贝尔(Dan A. Kimbeel)在获知钱学森要离美回国以后，立即给司法部打电话说：“无论如何都不要让钱学森回国。他太有价值了，在任何情况下都抵得上 3 –5 个师的兵力”。从此，莫须有的罪名接踵而至：海关扣压了钱学森的所有行李，污蔑他企图携带“机密资料”出境，触犯了“出口控制法”，勒令他不得离境。尽管钱学森声明，所有带机密性质的东西都锁在办公室的保险柜里，钥匙已交给克拉克·米利肯(ClarkMillikan)。他带走的都是个人物品，他的笔记本、讲义手稿、公开资料等。所谓机密性质的蓝图和密码本，只不过是他手稿中的草图和对数表。但也无济于事，司法部还是签署了逮捕钱学森的命令。

1950 年 9 月 7 日，听到敲门声，产后刚刚满月的蒋英抱着女儿永真把门打开，门口站着两个陌生的彪形大汉，口称要找钱学森。蒋英看来者不善，未让他们进屋。钱学森从书房出来，问什么事，并在门口和陌生人说了几句话，他们向钱出示了逮捕令。于是钱学森转过身，用平静的口气对妻子说：“他们让我跟他们走”。蒋英立即明白是怎么回事了。她给钱学森拿了洗漱用具，抱着哇哇哭叫的女儿，用愤怒的目光，看着丈夫被人抓走。

钱学森被捕以后，蒋英面前剩下的是一个刚满周岁满地爬着

的儿子永刚和一个襁褓中的女儿永真,房屋四周则布满了联邦调查局的特务　这位处于敌人营垒中的中国女性没有掉一滴眼泪,也没有被吓得手足无措,她立即拨通了加州理工学院校方的电话,告诉他们钱学森被捕的消息。

加州理工学院的同事们听说钱学森被捕,感到极大的震惊,他们都不相信罗列在这位正直科学家头上的罪名,并冒着风险,向蒋英伸出援助之手。校长李·杜布里奇(Lee DuBridge)去华盛顿为钱学森游说,弗兰克·马勃尔(F.Marble)让妻子奥拉·李·马勃尔(Ora Lee Marble)代蒋英在家照看孩子,而马勃尔本人则开着车带蒋英去寻找愿为钱学森辩护的律师。朋友们很快打听到钱学森被关在洛杉矶以南一个叫特米诺岛(Terminal Island)的联邦调查局的监狱里。经过努力,蒋英被允许探监,还是马勃尔为她开车。蒋英来到这所戒备森严、岗哨林立、荷枪实弹、周围拉着通电铁丝网的"自由王国"中的地狱。好心的马勃尔看到这种情况,心里发怵,他小声问蒋英怕不怕。蒋英说:不怕。她小时候在中国,就到南京国民党监狱去探视过她的父亲(1930—1932年蒋介石曾把蒋英的父亲蒋百里关押在南京监狱)。蒋英看到钱学森被关在一间昏暗的小牢房里,脸色苍白,面容憔悴,几天时间已被折磨得不成人形。和他说话,他不回答,只能把脸绷得紧紧地点头示意。蒋英心里十分难过,她知道,丈夫已失去了语言的能力。于是她不再多说什么,只告诉他:"该办的事情我都在办"。钱学森点点头。狱警催促时间已到,蒋英只得匆匆离去。

经加州理工学院朋友们的抗议和多方努力,15天后钱学森被保释出狱,赎金15000美元。这在当时,是一个不小的数字,与那时一般1000或2000美元的绑架案相比,钱学森案件可谓大案、他又是一位著名科学家,帮助他的朋友之中多有社会名流。因此

钱学森事件在当年曾引起美国社会不小的轰动，新闻媒介争相报道

出狱几天以后，钱学森才慢慢恢复语言能力，他对那段日子不堪回首。他作为要犯，被关在单人牢房，不准与别人接触，不准说话，监狱里空气浑浊，伙食极差。更令人不能忍受的是，夜间每隔10分钟狱警"啪！"一声把电灯打开，察看他是否确在，弄得他整夜不能入眠。15天的时间，他的体重减轻了30磅。

出狱后他仍无人身自由，在美国羁绊达5年之久。联邦调查局和移民局根据麦卡锡法案，继续对他进行监视和跟踪。按规定每个月他必须到移民局去报到一次，以证明他没有逃离美国。而且圈定他的活动范围只能在洛杉矶，越雷池一步，都要向移民局申报。其间，联邦调查局和移民局为查清钱学森是否共产党员，还多次举行所谓的"听证会"，对钱学森进行审讯。然而，在听证会上，他们拿不出一件确凿的证据。雇用的两名证人像两个傻瓜，被钱学森反问得语无伦次。一会儿说："他就是约翰·德克尔。"一会儿又说：他们"不认识"钱学森。检察官是一个极端反共的家伙，他在一连串例行提问以后，突然问钱学森忠于什么国家的政府。

律师抗议说："这个提问对澄清钱学森案没有直接的意义"。

但法官裁定："抗议不成立"。

于是钱学森略作思考，回答说："我是中国人，当然忠于中国人民。所以我忠心于对中国人民有好处的政府，也就敌视对中国人民有害的任何政府。"

检察官追问："你说的'中国人民'是什么意思？"

钱学森答："四亿五千万中国人"。

检察官紧逼不放，说："这四亿五千万人现在分成了两部分，那么我问你：你是忠于在台湾的国民党政府，还是忠于在大陆的共产

党政权?"

钱学森答:"我认为我已经说过我忠于谁的原则了"

检察官再问:"你在美国这么长时间,你敢发誓说,你是忠于美国政府的吗?"

钱学森答:"我的行动已经回答了这个问题,在第二次世界大战中,我用自己的知识帮助美国做事"。

检察官穷追不舍,又问:"你现在要求回中国大陆,那么你会用你的知识去帮助大陆的共产党政权吗?"

钱学森毫不示弱,说:"知识是我个人的财产,我有权要给谁就给谁"。

检察官又说:"那么你就不让政府来决定你所应当忠心的对象吗?"

这一下钱学森可抓住了他的把柄,义正严辞地回答说:"不,检察官先生,我忠于谁是要由我自己来决定的。难道你的意愿都是美国政府为你决定的吗?"

检察官狼狈不堪。美国新闻记者则在报纸上惊呼:被审讯的不是钱学森,而是检察官!然而在科学和教育界,正直的科学家和教授们都深信钱学森是无辜的,几所著名的高等学府争相聘他为教授。最后,他还是接受了加州理工学院的好意,继续在那里任教,并将自己的科研方向,转向不带机密性质的理论工作,即工程控制论和物理力学等。

在这5年的漫长岁月里,钱学森在精神上受到极大的压抑。联邦调查局的特务日夜监视着他,监听他的电话,拆检他的信件。他们还不时打来电话,假装找人,或走错了门来核查他是否确在,经常对他家进行骚扰,使他不能安心工作和休息。一次,一个联邦调查局的特务敲开了钱家的门,他一眼看见钱学森,便立即表示歉

意:“啊,对不起,先生,我找错门了。”钱学森冷冷地说:“你没有错,先生,我在家好好的,你大可放心了。”他刚转身要走,钱学森又说:“我想,干你们这一行的,应该学得聪明一些,怎么能用欺骗小孩子的办法来对付一位教授?”特务满脸羞愧,匆匆而去。有时联邦调查局的特务又假装成记者,“跟踪采访”钱学森,企图从他嘴里套出点什么。对付这一招,钱学森也有自己的“锐利武器”。一天,一个鬼鬼祟祟的人跟踪钱学森,声称他是当地一家报纸的“记者”,要求采访钱学森出狱后的工作和生活情况。钱学森并不正面回答他的问题,只说:“我没听说过这家报纸,也从来不读那些低级趣味的报纸。”一句话噎得“记者”张口结舌,半天说不出话来。钱学森晚年曾说:“当年我对那些特务毫不客气,总是骂得他们抬不起头。他们知道我的厉害以后,再不敢接近我,只得站得远远地监视。”

1955年5月,钱学森夫妇从一张海外华人的报纸上看到关于中国五一节的报道,其中有他们所熟悉的陈叔通和毛主席等党和国家领导人一起站在天安门城楼上,检阅游行队伍的消息。钱学森的父亲钱均夫在杭州求是书院读书和教书时就认识陈叔通,两家人可谓世交。这消息使他们十分激动。于是他们商量如何能和陈叔通老先生取得联系,营救他们回国。他们写了给陈叔通的信,请求祖国帮助他们早日回国。

1955年6月的一天,钱学森和蒋英带着书信,来到一间小咖啡馆,钱学森在门外和特务纠缠,机敏的蒋英立即溜进咖啡馆,将给陈叔通的信,夹在给比利时的妹妹蒋华的家书中,投进了邮筒。信寄到比利时,蒋华则将这封不同寻常的信平安地转寄到国内。陈叔通先生收到信的当天,就把它送到周恩来总理手中。1955年8月1日,中美大使级会谈在日内瓦开始。周总理立即指示王炳南大使,以钱学森这封信为依据,与美方进行交涉和斗争。尽管会

谈开始时美国大使U.艾里克西斯·约翰逊（U.Alexis Johnson）矢口否认美国政府扣留了任何中国公民，并不肯提供在美国的中国侨民和留学生情况。但当王炳南大使拿出钱学森的信，并当场宣读以后，约翰逊哑口无言了。在这种情况下，美国政府才不得不允许钱学森离美回国。8月5日，钱学森接到美国政府的通知，说他可以回国了。当钱学森夫妇接到这一通知时，其高兴心情是可以想象的，他们立即去买机票或船票。当他们听说最快启航的克里夫兰总统号（President Cleveland）远洋船只剩下三等舱船票时，他们的决定是，不管几等舱船票，只要能早日离美回国就行。

这一天终于盼到了。1955年9月17日，钱学森一家登上了克里夫兰总统号轮船，加州理工学院及喷气推进实验室的朋友们赶到码头欢送他们。码头上挤满了送行的人群和采访的新闻记者。钱学森这一天心情很好，愿意回答记者的提问，记者们七嘴八舌提了一连串的问题，无非是他为什么会被关押；回国以后有什么打算等等。他不可能一一回答，便说："我很高兴能回到自己的国家，我不打算再回美国，我已经被美国政府刻意地延误了我回祖国的时间，个中原因，建议你们去问美国当局。今后我将竭尽努力，和中国人民一道建设自己的国家，使我的同胞能过上有尊严的幸福生活。"听众们注意到，他特别加重了"尊严"（dignity）一词，这其中蕴含了多少内心的痛苦和磨难！由于人群拥挤，一些朋友甚至无法走近他们，作最后的道别，钱学森一家只好在甲板上向他们挥手致意。应记者的要求，他们在甲板上照了相。然而照完相，美国当局却向钱学森宣布，他在旅途中不能离船，否则他们将不能对他的人身安全负责。钱学森当然理解这些威胁性语言的含义。所以，在船上他仍被当做犯人对待。船到公海，同船归国的中国留学生们（有二十几人）都来看望钱学森一家。他们认为，像钱先生这样的

世界著名科学家坐三等舱是很不合适的，于是联合起来向船长提出抗议。船长迫于无奈，才在日本的横滨将钱学森一家从三等舱换到头等舱。中途，船到菲律宾的马尼拉港口靠岸，一群记者拥向甲板，采访钱学森。一名记者问钱学森究竟是不是共产党员。钱学森理直气壮地回答说："共产党员是无产阶级的先进分子，我还没有资格当一名共产党员呢！"那些记者讨了个没趣，知道从钱学森嘴里捞不到什么东西，都灰溜溜地下船了。

1955年10月8日清晨，经过二十几天的海上航行，略感疲倦的钱学森睁开双眼，隔着舷窗的玻璃，看到太平洋彼岸的巨大岩石渐渐映入眼帘：克里夫兰总统号正慢慢驶入香港。他一下子兴奋起来。而祖国和人民也热切地盼望他的回归。为了钱学森和这一批中国学者及留学生的安全，中国政府通过设在香港的中国旅行社与香港当局联系，派驳船直接到海上去接钱学森等一行人，把他们安全地送到九龙登岸。当他们来到九龙，准备搭乘火车到深圳时，一大群猎奇的记者等候在候车室，簇拥着要求采访他。英国殖民警察虽层层设防，但终究挡不住记者的人流。钱学森急于回乡，真不想搭理他们，但又无可奈何。

记者：钱先生，你什么时候开始被监禁的？

钱：怎么，你不知道这个？

记者：你的书籍和行李都带回来了吗？

钱：大部分。

记者：为什么会被查扣？

钱：你应该去问美国当局。

记者：所有在美国的中国留学生都希望回国吗？

钱：你应该明白这一点。

记者：你能告诉我们，你有哪些朋友还未获释？

钱:这是美国当局的事,我不想回答这个问题

记者:美国领事馆有人来问你什么吗?

钱:你为什么不自己去问问美国领事馆?

记者:你何时和太太结婚的?

钱:这个问题离题了。

记者:你的儿女出生在美国吗?

钱:是的。

记者:如果你的儿女出生在美国,那么他们是美国公民吗?

钱:这个你可以自己去查

记者:你儿女会说中国话吗?

钱:这是我个人的家事,我拒绝回答。

一位香港记者用英语问了一个问题。

钱:我想每个中国人都应该讲中国话。

记者:我只会讲广东话和英语。

钱:我想普通话在中国用得很普遍,而你是中国人,应该学会讲普通话呀!(众笑)

对于这帮记者,钱学森后来说:"同样的问题,同样的心态,一如我在洛杉矶上船那天碰到的记者一样。我和这些人没什么可谈的"。当这些失望的记者终于消失之后,他们才能继续上路。火车载着钱学森一家和同船归国的中国学者及留学生们到达深圳。他们被香港的殖民地警察"押解"走过一座小桥,对面的海关小楼上,五星红旗在向他们招展,广播里传来了欢迎他们归国的贺词。越过一个铁栅门,他们才算真正回到祖国大陆的怀抱。

这就是钱学森回国的曲折经历。他热爱祖国的赤诚之心,对天可表。

16.5 以献身科学的精神,敢于和善于攀登科学的顶峰

要想成为一个著名的科学家,必须具备献身精神,要有献身于科学事业的决心,敢于攻关,不畏艰险。而不能投机取巧,走捷径。

钱学森在开始他的科学生涯时,就下定了献身科学事业的决心。他的博士论文,选择的是高速气动力问题,这在当时就是一个很难的课题。当时飞机的速度日渐增加,压缩性效应(马赫数效应)越来越显著,而压缩性直接影响飞行体表面的摩擦阻力。同时当马赫数很高时,在边界层内滞迟的气流将会对表面有很高的热量传送。钱老的研究是从空气动力学开始的,他和冯·卡门合作,研究可压缩流体中的边界层问题。冯·卡门开始给钱学森的建议是用 Mises 变换,然后根据不可压缩的解进行迭代。钱老并没有按照老师的建议,做一下迭代的运算,然后交卷完事。而是从一开始就收集和阅读了大量参考文献,写了450页笔记,改正了前人很多不足的地方,然后才整理他的论文,这是钱老博士论文的第一篇。当然,论文的第二篇就提出了著名的卡门—钱公式,这是在那个时代,设计飞机时,计算作用在飞翼上的各种力(如升力,阻力,升阻比等)惟一正确的与实际符合的公式。这一公式从30年代到40年代,再到50年代,用了几十年,直到计算机发展起来,并用于飞机的设计计算为止。

钱学森虽然发展了前人的成就,但他又十分尊重前人的成果,每篇论文后面都详细列出参考文献,绝不贪占别人的成果。钱学森认为,每做一个课题,都要认真做文献调研,仅仅知道在哪里可以找到所需资料是远远不够的,必须切实消化并掌握它们,变成刻记在自己脑海之中,可以反复思考,随时调用和加工的东西。

接着,钱学森将他的科研方向转入固体力学的研究,这是当时航空工业发展中一个迫切需要解决的问题。因为早年的飞机都是木质结构,外加蒙皮。随着飞机速度的提高,这样的结构显然是不行的,于是出现了全金属结构的飞机。但是,金属结构在高速飞行的情况下,由于气动力加热,会出现各种问题。所以钱学森又来攻克这一难题。但这方面的问题也很困难,需要有科学的勇气,加上坚忍不拔的努力。比如,钱学森研究薄壁扁壳(针对飞机)和薄壁圆柱壳(针对火箭)的失稳问题。这是一个十分困难的非线性问题,前人也做过许多工作,但理论结果与实验之间有很大差距。钱学森为攻克这一难题付出了艰辛的劳动。仅现在收集到的手稿就有800多页,而最后发表在《航空学报》上的论文只有10页。也许钱学森在做完这个课题以后长长地舒了一口气。因为他在存放手稿的档案袋上用红笔写了一个英文字:"Final!"但他立即认识到,在科学上没有什么认识是最后的,所以又立即写下:"Nothing is final"。

钱学森在美国从事的另一项重要工作是火箭导弹的研究。这是20世纪30年代的事。大家知道,在那个时候,研究火箭是登不上科学的大雅之堂的,也属于邪门歪道。因为那个时代,研究火箭常常和宇宙飞行这样一些科幻联系在一起。所以,作为一名科学家,把火箭问题作为一个严肃的课题进行研究,在当时是冒着很大风险的。没有一种向未知领域和传统观念挑战的勇气是做不到的。事实上当时加州理工学院火箭研究小组在开始时只有5个人,这个小组是F.J.马林纳倡议成立的。钱学森在晚年回忆说:"马林纳这个人很聪明,小组的其他几个人动手能力也强,但他们理论上不怎么样,于是找到我,要我帮助他们解决一些理论计算问题,就这样我参加了火箭小组的工作。"

小组成立起来,最大的困难是得不到理解和经费支持,同事们把他们看成一帮"怪人",他们只好靠打工挣来的钱购买二手材料制作火箭。后来气象专业的一位研究生Weld.阿诺德(Arnold)表示可以给小组提供1000美元,条件是允许他进行拍照。在今天看来,这微不足道的1000美元,却成为美国火箭研究小组的第一笔启动资金。得到这笔钱以后,大家立即着手开展工作。钱学森首先对火箭研究的文献进行调研和分析计算,于1937年5月29日向小组提供了一份研究报告,解决了火箭设计中遇到的几个理论问题。报告的内容包括:燃烧室中的温度、火箭的理想效率、燃烧产物膨胀不足和过度膨胀对火箭效率的影响、燃烧喷嘴设计、发动机推力的计算等。这份报告被收进他们的火箭研究课题选集,该选集被小组成员称为他们的"圣经"。到6月份,小组的工作得到冯·卡门的支持:允许他们利用学校实验室的设备进行试验。但是,随后的试验多次失败,并给校园造成了许多灾难性的损失。火箭试验时产生的腐蚀性气体使许多仪器的金属表面氧化,有一次爆炸差一点使马林纳丧生,污染性气体弥漫着办公楼的许多房间,呛得人喘不过气来。冯·卡门不得不把他们赶出屋去,全校师生从此戏称他们是一个"自杀俱乐部"。但是,"自杀俱乐部"的成员们并未因此而灰心丧气,他们把设备搬到市郊一个名叫阿洛约·塞科(Arroyo Seco)的干涸的河床上进行试验,这里后来发展成为著名的喷气推进实验室(JPL),是美国火箭的摇篮。

钱学森勇于创新,敢于向传统观念挑战的勇气,在这些科研工作中得到了充分的展现。

16.6 严肃认真、严谨细致、一丝不苟是钱学森一贯的作风,一生的作风

这也可以说是科学家们的共同特点。钱老治学的严谨作风,从山西教育出版社2000年出版的《钱学森手稿》(1938—1955)一书中可见一斑。比如钱老做火箭发动机燃烧室不稳定燃烧问题研究时,其数据计算得非常精细,有的长达8位。要知道,这样繁重的计算在当时是靠拉计算尺得出的,到后来才有一台手摇电动计算器。其工作之认真艰辛,不言而喻。从钱老的手稿可以看出,他做学问总是一丝不苟,公式推导十分严谨,列表制图极为规范。他的字写得工整、清秀,很少出现差错,即使有修改,那也是改得清清楚楚,一目了然。

钱学森的认真精神,也有他的特点,那就是他认真起来,毫不讲情面。因为他认为,科学是来不得半点虚假的。在我国"两弹一星"事业中,周总理提出"三高"标准,即"高度的政治思想性,高度的科学计划性和高度的组织纪律性"。以及"严肃认真,周到细致,稳妥可靠,万无一失"的要求。钱学森在领导我国导弹航天事业中,总是严格按照周总理的要求办事,从不放过试验中的任何一点差错。他主持国防部五院的技术工作,在总结"东风—2号"第一发的经验教训时提出"把故障消灭在地面"的原则,它已成为一代航天人研制和试验工作的行为规范。所以每次试验,对测试中出现的任何一个疑点,他都要打破沙锅问到底,紧追不放,一直到真正把问题搞清楚,把故障排除,或对出现的异常现象做出科学的、有试验根据的合理解释他才肯罢休。当年在基地搞试验的一位老同志说,在一次发射前的测试中,他向钱老汇报氧化剂的加注活门

有点漏气 钱老立即问:"有多大点漏气,你们测试过没有?"答:"没有"。于是钱老严肃地说:"你马上回去测,测试清楚了再向我汇报" 经过测试,每分钟一个小气泡,这个指标在允许的范围之内。于是再去向钱老汇报,他才点头认可。类似的事在当时的研制和发射试验中是很多的,他当年在基地一呆就是一两个月、大大小小的事情他都得过问。在钱老的《工作手册》中,每次试验他都有详细记录,甚至把大大小小的异常或故障列出表格,一一落实解决。对已经解决的问题,他注上:"已换",或"已重新调试,可用等"。尚未解决或落实的问题,他在表格中用红笔作个"*"号,并注明已指定谁协调解决。

由于钱学森的严肃认真,严谨细致,一丝不苟的作风,他带动和培养了一大批人,周总理提出的"三高"标准,成为一代航天人的优良传统和作风。所以在那个时代,虽然我们的技术条件比美国、苏联落后很多,但我们的成功率确比他们高得多。

16.7 优秀的共产党员,科技界的一面旗帜,全党学习的典范

钱学森1959年入党。但他是我党的一面旗帜,全党学习的典范。这方面的事迹却鲜为人知。所以,在这里我要介绍一下他的有关事迹。而他这方面的品德与他科学上的成就也是密切相关的。

1. 对金钱的态度。钱学森一生对金钱看得很淡漠。他当年放弃在美国的优厚条件,坚决要求回到各方面都还十分落后的祖国,就是为了和祖国人民同呼吸,共患难,用他的知识和智慧建设国家,使祖国强大,人民幸福。钱学森用他的行动,实践了自己的

愿望。

他回国以后,完全靠自己的工资生活,以今天的标准看,那时的工资是很低的,一级教授一个月300元多一点,而且是几十年一贯制。除了工资之外,他还有一些稿费收入,晚年也曾得到过较大笔的科学奖金。但他把自己这一生所得几笔较大的收入统统捐了出去。这包括:钱学森著《工程控制论》1958年中文版稿费(千元以上,这在当时是一笔很大的收入)捐给了中国科技大学力学系,资助贫困学生买书和学习用具;1962年前后,钱学森著《物理力学讲义》和《星际航行概论》先后出版,稿酬有好几千元。这在当时简直就是一个"天文数字"。那时还处在"三年经济困难"时期,人人都吃不饱肚子。钱学森及其家人和全国人民一样,也是勒紧裤带过日子。但是,这么一大笔钱并没有使钱学森动心。当他拿到这两笔稿费时,连钱包都没打开,转手就作为党费,交给了党小组长。

1978年钱学森又交了另一大笔党费。当时"文化大革命"刚刚结束,开始落实各方面的政策。钱学森的父亲钱均夫老先生原在国务院文史委员会上班,1969年去世。但因"文化大革命"的冲击,从1966年起就不发工资了。所以,钱均夫老先生在去世前三年未领到一分钱工资。到1978年落实政策时,给钱均夫补发了3000多元的工资。然而,钱老先生已经过世,钱学森作为钱均夫惟一的儿子,自然有权继承这笔报酬。但是钱学森认为,父亲已去世多年,这笔钱他不能要。退给文史委员会,人家拒收,怎么办?钱老说,那我只有作为党费交给组织。所以这3000多元也交了党费。

除此之外,1982年钱学森等著《论系统工程》一书,钱学森本人所获稿费捐给了系统工程研究小组;1994年钱学森获何梁何利基金优秀奖100万港元,这是一笔相当大的奖金。这100万港元

的支票甚至都未经过他的手,他就写了一封委托信,授权王寿云和我,代表他转交给促进沙产业发展奖励基金,捐给了我国西部的治沙事业。直到我写此文的时间为止,他这一生的几笔大的收入,统统都捐了出去。即使在平时,他和别人联合署名发表文章时,他总是把稿费让给别人,说:"我的工资比你多,此稿费就请你一人收下吧!"钱老对待金钱的态度,读者自己可以由此得出结论。

2. 对地位的态度。钱学森这一生曾任国防部第五研究院院长、副院长,第七机械工业部副部长,国防科委副主任,国防科工委科技委副主任,直到中国科协主席、全国政协副主席等要职,其地位不可谓不高。但一般人不知道,钱学森对这些"官位"一点也不在意。要不是工作的需要,他宁可什么"官"也不当。他常常说:"我是一名科技人员,不是什么大官,那些官的待遇,我一样也不想要"。所以,他从不爱出席什么开幕式、闭幕式之类的官场活动,只喜欢钻进科学世界,研究学问。在这方面若有所得,就十分高兴。他常说:"事理看破胆气壮,文章得意心花开"。

人们常常不明白,在国防部五院,钱学森为什么是先任院长,后任副院长?其实,这就是钱学森和一般人的不同之处。1956年,他向中央建议,成立导弹研制机构,这就是后来的国防部第五研究院,钱学森担任首任院长。但随着导弹事业的发展,五院规模的扩大,钱院长的行政事务也越来越多。比如连人员的住房分配,食堂和幼儿园的建设等都要他亲自过问,但这并非钱学森之所长。与此同时,又有大量技术问题等待他去解决和处理。在这种情况下,他不得不向领导提出,免去其院长职务。周恩来、聂荣臻也很快注意到这种情况,他们接到钱学森的情辞报告后,果断决定,配备强有力的行政领导,解决大量行政、后勤事务,把钱学森从这些繁杂事务中解脱出来,让他集中精力思考和解决重大技术问题。

于是1960年3月,国防部任命空军司令员刘亚楼兼任五院院长,空军副司令员王秉璋任五院副院长,主持常务工作。后来,王秉璋又改任五院部长。从此钱学森只任副职,由国防部五院副院长,到七机部副部长,再到国防科委副主任等,专司我国国防科技发展的重大技术问题。钱学森对这种安排十分满意。他考虑的是科研工作,而不是自己因此会失去什么权力,降低什么待遇。这种精神贯穿在他的一生之中。

1981年,当钱学森刚满70岁时,他立即给张爱萍写报告,说他年纪大了,比他年轻的人也都成长起来,他恳请组织上免去他国防科委副主任的职务,并要求退休,还推荐了三位可以接班的人。张爱萍接到钱老的报告以后找他谈话说:国防科委很快要和国防工办合并,成立国防科工委。考虑到你的意见,可以不再任命你担任国防科工委副主任。但是我们的国防科技事业还需要你,你不能退休。将成立国防科工委科学技术委员会,给科工委领导作科学技术的参谋,重大科研项目先由科技委的专家们论证,提出方案,再报请科工委领导批准实施,所以还要请你在科技委继续工作。这样,钱老又在科技委干了五年。到1986年他满75岁,又主动给领导打报告,请求免去他科技委副主任的职务。到1987年才批准他从国防科研的领导岗位上退下来,并被聘为科技委高级顾问。

他出任中国科协三届主席的经历也是曲折的。大家知道,科协是五年一届,而周培源从1980—1986年担任了六年的主席。为什么周老干了六年?就是因为主席的人选达不成一致。大家一致推选钱学森为三届主席,可是钱老坚决不干。记得1985年科协二届第五次全国委员会,一致通过建议,由钱学森任三届主席,他个人还是不同意。一直到闭幕那天,在京西宾馆开闭幕大会,请钱老(他是副主席)致闭幕词。闭幕词的稿写好了,送给他审阅。他看

了稿子以后表示,这个稿我原则上同意,但最后要加一段话,让我向大家说明,我不能出任三届主席的理由。如果你们同意加这段话,我就念这个稿子,如果你们不同意,我就不念,请别人致闭幕词。科协的同志只好表示:"钱老,您念完这个稿子,可以讲一段您个人的意见,但不要正式写进这份讲稿"。于是钱老同意致闭幕词。我参加了那天的大会,我记得当时的情景是:当钱老说明他不适合担任下届主席时,会场上连续地鼓掌,使他没法讲下去。有人站起来插话说:"钱老,这个问题您个人就别讲了"。大家对他的插话又热烈鼓掌。后来方毅、杨尚昆、邓颖超都出面找他谈话,劝他出任科协三届主席。

由于这样一些工作,钱老才担任了一届科协主席。如果不是大家这么一致地做工作,钱老是绝不会要这个名的。1991年,当他任期满了以后,在换届时,他坚决不同意连任,并推荐比他年轻的人担任下届科协主席。

关于全国政协的职务也是这样。大家知道,钱老是全国政协第六、七、八届副主席。当然,第六届他并不是换届时选进的,而是中间增补进去的。但钱老不算这个细账,他在七届任满时,就给当时政协的负责人写信,请求不要在八届政协安排他任何工作。信的全文如下:

李先念主席宋德敏秘书长:

4月15日上午我在301医院得见洪学智副主席,他嘱咐我要注意休息,切莫活动过多。我当即向洪副主席报告,我早已上书先念主席,请求免去我在全国政协的事,后在一次全国政协主席会上,先念主席答应此事在换届时解决。现在正在进行政协全国委员会换届工作,故我再次提出请求,不要再在八届全国政协安排我

任何工作。这是我身体条件的实况。

谨此报告。并致

敬礼!

钱 学 森

1992.4.20.

但是,这个报告没有被批准,直到1998年全国政协八届换届时,钱老才从全国政协的位置上完全退下来。

读者从这些事实中看到,钱学森是从来不要什么地位的。

3.钱学森对待荣誉的态度。由于篇幅所限,关于这个问题只讲两件事。

第一件是关于"院士"的荣誉称号问题。我想目前在中国,从事科研工作的,都想争取一个荣誉称号:"院士",或中国科学院院士,或中国工程院院士。这个称号在1994年以前叫"学部委员"。然而,大家不知道的是,钱学森在1988年和1992年曾两次给时任科学院院长的周光召写信,请求免去他学部委员(即院士)的称号。这里只引用1992年的信,全文如下:

本市三里河中国科学院

周光召院长:

近得1992年第6次学部委员大会通过并经国务院同意的《中国科学院学部委员章程(试行)》,看到其中第24条说学部委员可以申请辞去学部委员称号。您是知道的,我前几年即有此意。近日来,更因年老体弱,已不能参加集会作学术及其他活动,故已不能完成中国科学院学部委员的任务。据《章程》规定及个人情况,特申请辞去我的学部委员称号。

以上请您批办

此致

敬礼！

钱学森

1992.9.21.

信发出以后，钱老告诉我，在一次学部大会执行主席会议上，周院长和严老（严济慈）一起做他的工作。周光召说："钱老，学部委员不是个官位，是大家选的，不是我任命的。我无权批准您的请辞报告"。严老说："我们主席团讨论了，大家一致不同意您的请辞报告"。

第二件事是1991年授予他"国家杰出贡献科学家"荣誉称号的情况。1991年钱老满80岁，正好这一年中国科协要换届，从此，钱学森要退出所有一线科技工作。为了表彰他这一生对我国科学技术事业的贡献，中央酝酿授予他荣誉称号。但整个酝酿过程钱学森一无所知，授奖仪式在10月16日举行。当一切准备就绪之后，在10月10日这一天有关人员才向他本人报告。对于这么高的荣誉，钱学森本人的态度十分冷静，决不因此而忘乎所以。其证据之一是他在授奖仪式上的著名讲话：他并不激动；二是授奖仪式之后，新闻媒体上出现了一个宣传钱学森，学习钱学森的高潮，一些著名科学家，比如钱三强、王大珩、张维等都接受记者采访，谈学习钱学森的体会，航天部，科协，科工委等单位也作出向他学习的决议。在这几天，我也忙得不亦乐乎。一天上午，钱老把我叫到他的办公室。第一句话就是："你怎么还在忙啊？我们办任何事，都应该有个度。这件事（指对他的宣传报道）也要适可而止。这几天报纸上天天说我的好话，我看了心里很不是滋味。难道就没有不

同的意见，不同的声音?"我立即回答说："钱老，既然您说到这里，那么，我如实向您报告：我也听到一些不同意见。有的年轻人说，怎么党的知识分子政策都落实到钱学森一个人身上了?"钱老立即说："你说的这个情况很重要。说明这件事涉及到党的知识分子政策问题　如果它完全是我钱学森个人的问题，那我没什么可顾虑的，他们爱怎么宣传都行。问题是在今天，钱学森这个名字已经不完全属于我自己，所以我得十分谨慎。在今天的科技界，有比我年长的，有和我同辈的，更多的，则是比我年轻的，大家都在各自的岗位上，为国家的科技事业做贡献。不要因为宣传钱学森过了头，影响到别人的积极性，那就不是我钱学森个人的问题了，那就涉及到全面贯彻落实党的知识分子政策问题。所以，我对你说要适可而止，我看现在应该划个句号了，到此为止吧。我这么说并不是故作谦虚，要下决心煞住，请你立即给一些报纸杂志打电话，叫他们把宣传钱学森的稿子撤下来"。于是我回到办公室，立即照办。比如《光明日报》、《科技日报》等，都表示尊重钱老本人意见，明天不再见报了。有一个杂志，也表示尊重钱老意见，但下期的稿子已下厂排版，有两篇回忆与钱老交往中受到教益的文章不好撤下来。打了一圈电话，我到钱老办公室向他反馈信息。他听了后说："这样的回忆性文章都是在一个人死了以后才发表的，我还没死，他们急什么?"我听了这话，扭头就走，赶紧打电话告诉该杂志的主编："钱老把话都说到这个份上了，天大的困难你们去想办法克服，但稿子一定得撤"。

以上是关于钱学森对待金钱、荣誉和地位的态度。他的崇高思想境界和高尚品德，使他成为一名优秀的共产党员，科技界的一面旗帜，全党学习的典范。这些品德看来和科研工作没有太大的关系。其实，一个科研人员，如果满脑子都是金钱、荣誉、地位这些

东西,即使他很聪明,也成不了大器。科学是需要人们无私奉献的,古今中外,概莫能外。这里,我想引用钱老1978年在悼念他的挚友、著名科学家郭永怀时讲的一段话:“一方面是精深的理论,一方面是火热的斗争,是冷与热的结合,是理论与实践的结合。这里没有胆小鬼的藏身处,也没有自私者的活动地;这里需要的是真才实学和献身精神”。这句话既是他对亡友的深切怀念,也体现了他一生的崇高思想境界。

附录一：

讨论发言选录

和钱先生在一起的日子

朱 兆 祥

从中国科学院谈庆明教授处得知，北京大学现代科学与哲学研究中心组织了一个关于钱学森先生学术思想的研讨会，就很想来参加。也没有征得组织者的同意，就悄悄溜了进来。哪知道参加了一次就离不开了，一共开了半个多月。这个研讨会确实开得很好，用意是在庆贺钱先生的九旬诞辰，把钱先生倡导的技术科学、系统科学、科学技术体系、从定性到定量综合集成方法、开放的复杂巨系统等等，加以深入的发展和普及，其意义是很深远的。在会上不意巧遇钱永刚师弟，一时勾起四十多年前的往事，心情不能平静。

1955年深秋，钱学森先生突破美国政府的封锁回国。我受陈毅副总理的派遣，代表中国科学院去深圳迎接。当时我在全国科学普及协会秘书处工作。为什么派我去迎接？现在只能用汉语中微妙的"缘分"二字来解释。那时我不认识钱先生，所以出发前找了中国科学院的赵忠尧和郑哲敏先生，又到上海找了钱学森的父亲钱均夫老先生，初步了解了情况。钱老先生还给了我钱学森夫妇和子女永刚、永真的一张合照，以便辨认。还有科学院办公厅给

我准备了一组新华社收抄的近期有关钱先生离美的外电新闻，使我大致体会到钱先生等此次爱国行动的重大政治意义。我到广州时，陈毅同志已有电报来关照省府。地方上很支持，派了一位副处长陪同我前往深圳协同工作。

1955年10月8日深圳罗湖桥头动人心魄的一幕是很难忘怀的。我们已经从中国旅行社探知，钱先生等二十位离美归国人员所乘的克里富兰总统号邮船将在九龙靠岸，香港殖民地政府屈从美国的压力，对钱先生等一行将以“押解过境”的屈辱名义来对待。近中午时分，罗湖桥门打开了，这支光荣的爱国者队伍踏上界桥，面向祖国，步行过来了。正当我们拿着照片紧张地搜索钱先生一家之时，我的手突然被队伍的先行者抓住了，使劲地握着。我猛转身，发现对方眼眶里噙着的眼泪突然掉了下来。我意识到，此时此地我这个人，原来谁也不认识我，他们也不知道我是来干什么的，现在却被看做祖国的代表了。我也极为感动。就这样，一个挨着一个，每个人都带着激动的泪痕跨入国门。我终于接到了钱先生一家。

和钱先生一家同时从加州理工学院所在地珀萨定纳出发，一路同行的还有李整武、孙湘教授一家。当我陪着两家人进入深圳车站休系室坐定后，我把科学院吴有训副院长和院学术秘书钱三强先生的欢迎函面交给他们。钱先生站了起来，再次和我们握手，并走到李教授跟前说：“整武兄，这下真的到了中国了。恭喜，恭喜！”两个人又激动地握手。孙湘教授把怀中的孩儿递给丈夫，从手提包里取出他们随身带来的离美那天出版的珀萨定纳晨报给我看，上面印着特大字号的通栏标题：“火箭专家钱学森今天返回红色中国！”在麦卡锡主义甚嚣尘上的国家里，在外交上已经输干净了，还始终不忘制造恐怖气氛吓唬人。今天，钱先生终于安全地回

到了祖国，开始了生活上崭新的一页。

整整十一年之后，1966年10月27日，当钱学森先生协助聂荣臻元帅领导了导弹和原子弹“两弹结合”飞行实验获得成功，《纽约时报》在次日无奈地作了报道，承认“这是对冷战历史的嘲弄”，并追叙了钱学森先生在美国的最后一段历史说：“1950—1955年的五年中，美国政府成为这位科学家的迫害者，将他视为异己的共产党分子予以拘捕，并试图改变他的思想，违背他的意愿滞留他，最后才放逐他出境回到自己的祖国。”我恰好成了这最后一段历史中最后一幕的见证人。

我陪钱先生先后到了广州、上海、杭州，直到北京。一路参观了二十来个单位，包括大学、研究所、工厂、农业合作社，还有纪念馆等。此外，他一有机会就上书店，选购《中华人民共和国宪法》、《五年计划》、毛泽东的著作。他不止一次地跟我说起：“这次回国感到受益最大和令我最高兴的是，在国外多年科学研究中摸索出来的方法，在精神上是和《实践论》、《矛盾论》的原则相符合的。”

到了北京，中国科学院正式提出，请钱先生在北京以数学研究所力学室的十二员大将为基础，和钱伟长先生一起创建力学研究所，并建议他到新中国的工业基地东北参观考察一下。钱先生欣然同意了。我再次受命陪他去考察，而且院党组又酝酿让我以学术秘书名义帮他建所。

我们二人在东北整整考察了一个月。先到哈尔滨，然后南下，依次访问长春、吉林、沈阳、抚顺、鞍山，最后到达旅大市。考察了新中国成立后短短的六年里兴建和更新的许多工厂和矿山，包括汽车厂、飞机厂、机车车辆厂、造船厂、钢铁厂、冶炼厂、机床厂、重型机械厂、风动工具厂、电机厂、大型水电站、铁厂、煤矿、化学厂、造纸厂、石油厂，以及自动化程度较先进的亚麻厂和无缝钢管厂。

此外,还访问了中国科学院在东北的研究所:土建所、机电所、仪器馆、应化所、金属所、石油所、煤炭研究室以及在东北地区的几所著名高校:大连工学院、东北工学院、东北人民大学、哈尔滨工业大学、哈尔滨军事工程学院。

此行收获很大,使钱先生和我都感到惊讶,深深感受到社会主义制度在统筹和协调工作上的巨大能力,可以集中力量办大事。才六年时间的建设,祖国的面貌已经大变,焕然一新。在所见所闻中,我只就当时感受较深而对后来影响较大的两件事来说一说。

第一件事是陈赓大将邀请参观哈尔滨军事工程学院的事。

我们到达哈尔滨是东北之行的第一站,时间已在11月下旬。省委统战部出面安排接待,拟定了一个参观计划,征求钱先生的意见。钱先生表示:他有两个朋友庄逢甘和罗时钧在哈尔滨工作,他希望此次能见到他们。省里感到有些为难。因为这二人都在哈尔滨军事工程学院,这是个保密单位,省里作不了主,要请示中央。当时解放军副总参谋长兼任军工学院院长的陈赓大将正在北京,一听到钱学森先生要来哈军工访问,第二天清早就乘专机飞到哈尔滨,并在8时前亲自赶到军工学院迎接钱先生,陪同参观。

陈赓大将命令把所有各系的试验室和陈列室都打开来请钱先生参观,他说:"在钱先生面前还有什么保密的。我们的很多陈列品都是从朝鲜战场上拣回来的战利品。我们规定了一些保密条例,只是为了向帝国主义装个蒜,不让他们知道底细。"在实验室所在院子的一角,我们看到有几个教员正在摆弄一个很简陋的小火箭实验。陈将军问钱学森:"中国人自己搞导弹行不行?"钱说:"外国人能干的,中国人为什么不行?"陈赓大将说:"好!就要你这句话。"我们在哈军工参观了两个半天,这是钱先生回国后第一次接触解放军,对部队装备的科技水平有了第一次了解。临别的时候

陈赓大将表示希望回到北京后再有机会谈谈。

我们大约在一个月后才回到北京。科学院办公厅告诉我，彭德怀同志处来过几次电话，要我回来之后立即到他家去，有事相商。这使我很奇怪，因为从来不曾和彭老总有过联系。我随即在府右街附近找到了他家。哪知道出来接见我的却是陈赓大将。我说我是不是找错地方啦？陈大将说:“没错，是彭老总很想和钱学森先生见见面，但他病在医院里了。我们约定一个时间，改天到医院去看他。今天你来了，你先说说，钱先生对我们哈军工有什么意见和看法?”我说:“钱先生对我们新中国有这样装备新颖和管理井井有条的军事工程学院非常高兴。但他对学校里请了这么多苏联专家来教书，很不以为然。他说:难道我们中国人不会教书啊，请了这么多外国人来做什么。哈军工的教师好像事事都要听从苏联专家，显得很被动。这对学校发展很不利。”陈赓一听，就高兴地站了起来说:“哎呀，钱先生民族自尊心这么强，多么可贵啊!”我一听感到陈赓大将的话和当时报上的宣传口径并不一致，但使我对一个中国将军真实而直率的感情感到钦佩。陈将军机智、幽默、心直、口快，跟他谈话是感到心悦诚服的。他随即半开玩笑地说:“你们科学院的同志，可真厉害啊！我们刚刚听到钱学森即将回国的消息，很想及早见见他请教请教。就有人告诉我:科学院早已派人到深圳去迎接了。等钱学森到了北京，我们很想请他到部队来发挥专长，又有人告诉我，人家科学院早已请妥他创办力学研究所啦，房子、班子都准备好了。所以我说你们科学院同志，想得早，干得快，真厉害。”他的玩笑中隐含着一股迫切的心情，我听出来了。

过不了三四天，快过年了，陈赓大将亲自陪同钱先生和我一起到医院去看望彭德怀同志。这次会见很特别，没有客套和寒暄，彭老总开门见山就提出问题来讨论。他说:我们是社会主义国家，不

会去打人家。但我们一定要把部队用新式武器装备起来，落后了要挨打。我很想知道，我们中国人，能不能自己造出导弹来，譬如说，主要用于防卫的近程导弹，用我们自己的人才、自己的设备，能不能自己造得出来？需要多少时间？双方就这个问题讨论很久，谈得很投机。看来彭老总心情很急，简直就像交代任务一样。谈完出来，陈赓建议到部队的一个高干俱乐部去吃晚饭，并且请了两位将军王震上将和装备部万毅部长来作陪。陈赓介绍，他们两位对导弹特别感兴趣。于是，席间的话题全是导弹了。钱先生对导弹原理和国际情况都了然于胸，陈赓就提出请钱先生为部队的校级以上干部做个普及导弹知识的报告。这个计划不久就实现了。在总政排演场礼堂钱先生连讲了三天。以上这些活动我都参加了，使我感到了紧锣密鼓的气氛。

紧接下去的是部队高层领导和钱先生一系列交往探讨，我都未参与。事后才知道，在陈赓大将的陪同下，叶剑英元帅和周恩来总理接见了钱先生。叶帅提出希望钱先生主持导弹研制事业。周总理并要求钱先生起草一份《建立我国国防航空工业的意见书》。这份意见书在 1956 年 2 月 17 日交给周总理，受到了中央的高度重视。接着成立了以聂荣臻元帅为主任的领导导弹航空科学研究事业的航空委员会，聂帅提出建立我国导弹研究工作的第五研究院，钱学森为院长。在钱先生回国一周年 1956 年 10 月 8 日，五院正式成立。真是令人惊异的高速度。四年后的 1960 年 11 月 5 日，我国第一次近程导弹飞行试验成功。十年后的 1966 年 10 月 27 日，两弹结合试验成功。这些巨大的成就已为世人熟知，我也是从公开发表的报道知道的。

第二件事是，在东北之行中，钱先生有好几次应大学和研究所之邀作学术报告。讲演的主题大都是关于发展“技术科学”的问

题,一次比一次深入和展开。我曾经把他此行所讲和他后来提出的建设力学研究所的方案相比较,发现他回国时向往成立的研究所的内涵远比传统的应用力学要宽要深,实质上是希望办成一个运用马克思主义方法论的、足以领导工农业生产前进的"技术科学研究所"。

技术科学一词原来叫做工程科学,译自英语。钱先生1947年回国探亲时,曾以工程科学为题在交大、浙大和清华分别作过讲演。讲述了德国著名数学家克莱因倡导的应用力学学派在工程应用上的重大成就和发展前景,指出这个学派所提倡的科学与工程相结合从而推动工业技术(特别是航空工业)飞速发展的思想已经得到了充分的体现,在自然科学与工程技术之间已经形成了一个独立的科学体系。这就是工程科学,后来在我国改称技术科学。在美国的最后几年间,钱先生在失去自由的情况下,埋首创建了技术科学方面两门新的学科:《工程控制论》和《物理力学》。前者把维纳在1948年刚刚提出的《控制论》的概念和原理创造性地运用到火箭一类受控系统的运动和稳定性问题中去,获得很大的成功;后者建立在热力学、量子力学和统计力学的基础之上,通过微观和宏观相结合的方法去预测工程中需要的新物质材料的宏观性质。两者都和传统的应用力学紧密相关,然而都已超出了经典力学的范围。

在钱先生的心目中,有许许多多新的技术可以在新中国发展,在东北之行路上和我说了许多。他举出航天技术、核聚变、自动化工厂、冲击波化学、风力工程、定向爆破、光能利用、农业工厂以及"呼风唤雨"的气象工程等等,和这些新技术相应可以建立起许多影响国计民生的新的技术科学,前途无限宽广。

此外,他又特别注意到国外在二次大战的战争实践中发展起

来的一门新学科"运筹学",有可能发展到经济、企业、工程的管理中去,逐步形成工程经济理论、运输理论等新学科。在此次回国途中他结识了一位数学家许国志先生,两人就回国后在社会主义条件下发展"运筹学"问题谈得非常投机,相约回国后努力促成此事这就把注意的范围扩大到通常的自然科学和工程技术之外了。

他认为,新成立的力学研究所可以把研究范围放宽。在一路的讲学、讨论、访问、思考、酝酿之中,他的建立力学研究所的方案成熟了。回到北京后,在1956年1月5日中国科学院的院务会议上提了出来。这个力学研究所将成立弹性力学、塑性力学、流体力学、物理力学、化学流体力学、自动控制、运筹学等七个研究室。院务会议同意这个方案,宣布力学研究所无须经过通常的筹备阶段,即日正式成立,钱学森先生和钱伟长先生为正副所长。由于学科发展的紧迫需要,自动控制研究室在半年内升格成为自动化研究所,运筹学研究室则在后来演变成为系统科学研究所。这两件事说明了钱先生早年卓越的远见。

在这次北京大学的研讨会上,我才接触到钱先生在我国改革开放启动之后的一系列新的学术活动,大家都盛赞钱先生作为思想家的"博大精深"的风貌,我深受感动。追根思源,钱先生的思路在归国之初甚至更早就已萌芽,五十年来锲而不舍,达到今天的巨大成就。

钱先生在科学研究推动社会进展和科研方法方面早年就有许多精辟的见解,在我的笔记本里还留有一些记载,摘抄几条贡献给大家。

在科学研究和工业生产的关系方面,钱先生多次讲述了一个重要的观点。他说,科学研究应该走在工业的前面,应该领导工业生产前进。又说,科学研究应该为工业生产指导方向,主要是领导

工业技术的发展和更新，而不仅仅是解决现有生产中出现的枝节问题。

在谈到技术科学和工业的关系时，他说，技术科学应该成为对未来工业起领导作用的科学，不是说要科学跟着工业走，而是要考虑在十年、十五年后我们的工业应该往何处走。高等学校和科学院要注意未来工业的发展方向，要干人家不能干的事，要对工业起领导作用。

钱先生强调科学理论在科学研究中的重要作用。他说，许多复杂问题最好先作理论分析，这样不至于瞎摸，也可以减少实验方面的投资和人力。又说，搞科研工作不能性急，不要拿起来就做，这样很盲目。要先做理论分析。

在建立科学理论的过程中，钱先生特别强调抓主要矛盾的方法。他说，实际现象往往很复杂，看不出头绪。因素很多，不能在理论研究中全加考虑。因之，要把主要因素和非主要因素分开。有经验的科学家在少数重要因素中再选择其中的主要因素。这是一个创造过程。选定主要因素后，就建立一种模型，再来进行分析，与实验结果进行比较。比较对了，就是真理。如果不对，就要修改模型，直到模型的预测与实际现象相符为止。

我正式调到力学研究所是颇费周折的，由于院党组的支持才实现了。我没有做过研究工作，怎么建所呢。先后两任党组书记张稼夫同志和张劲夫同志几乎不约而同地都叫我做好两位钱先生的学生，实现两位钱所长的办所主张。由于政治运动的干扰，我没能当好学生，钱所长也忙于国防任务。我们各奔东西了。我在艰难中坚持学好力学、教好力学、学会做力学研究，中间得到钱先生的几次有力支持，衷心铭感。我常常想到我们在一起时的美好岁月。现在我们都已进入老年期，我还希望自己认真学习钱先生的

科研思想,为青年人做些介绍 祝愿钱先生长寿再长寿。

随 感

李 佩

北京大学现代科学与哲学研究中心举办的"钱学森与现代科学技术"学术研讨会,是一次高水平、高效率的学术活动,内容丰富多彩,囊括了钱学森70多年来学术上的创见、成就和许多前瞻性的策略和提示。中心的三位负责人赵光武教授、冯国瑞教授和罗先汉教授对研讨会作了精心安排;邀请来作专题报告的各位专家、学者都表现出对钱学森思想的不同领域或侧面有深刻的领悟,简练精辟地描述了个人的学习心得与独特见解。我一共参加了11次讲座。虽然限于我的知识面,有些专业性较强的理论一时不能理解,仍然感到自己获益良多。每一次听后,都恨时间过得太快,眼界开阔了,思路清晰了,上了一堂大课!有时回家一想,哦,原来老钱在40年代,对于科技建设的管理体制已有一套想法。在《华盛顿晚邮报》科学新闻记者爱特生执笔、冯·卡门口述的传记(20世纪60年代初完成)里,第38章"中国的钱学森博士",有一段冯·卡门说的话非常好:

"钱很喜欢上我家串门,由于他的见解饶有风趣,态度直率诚恳,因此我妹妹非常欢迎他。他经常会提出种种新奇的设想。我记得,他在导弹试验初期已敏锐地感到导弹的重要性将日益增长。他半开玩笑地提出,美国应设立一个名称叫喷气式武器部的新机构,专门研究遥控导弹,因此,必须委托军事部门的一个新团体,以崭新的作战思想和方法进行管理。后来事实证明这个设想完全正确。

他甚至还建议我们建立一个学会,以促进喷气推进技术的发展。"

"钱对加州理工学院喷气助推起飞计划做出过重大贡献 后来,他接受我的邀请,加入了空军科学顾问团。……"(摘自曹开成的译本,上海科学技术出版社 1987 年版)

老钱回国以后,1956 年建立力学所,1957 年举办清华力学班,1958 年中国科技大学创建规划,都反映出了老钱的远见卓识。也正如冯·卡门所说,"后来事实证明这个设想完全正确"。老钱回国以后,所有的设想都是为了适应国防建设、经济建设的需要,针对性很强。特别是在培养人才方面。当年,科大应该设置哪些系,开哪些课,甚至请谁来开课,都有老钱的意见和建议。科大的老二届学生今天见面时谈起来还很自豪。他们中间大多数分配到国防建设部门。因为,在科大那几年听的是世界一流教授的课,打下了扎实的专业基础,学到了研究方法,懂得了如何学习、如何分析问题,到了指派的工作岗位上,很快就能自我调节好而"入境";而且是投入了毕生的精力,默默无闻地坚守在自己的工作岗位上。这样的一批人才,可以说不但是学到了钱学森和其他一些老一代科学家的治学真谛,也学到了他们的品质。

在这次研讨会上,大家都认为应该好好地宣传钱学森的"钱学",他的一套完整的思想体系和他的品德,确实有必要;能学到一星半点就很不错。我记得,当年钱学森在美国被诬陷、迫害的消息传到康乃尔大学时,中国学生都震惊、气愤,不少人都为此而下定回国的决心。钱学森对学术界人氏的影响很大,为培养后代应该大事宣传。但钱学森就是钱学森,钱学森是"克隆"不出来的!

我要向这次研讨会的主持人和工作人员再次表示感谢,使我这个外行对"钱学"的深奥内涵有了初步认识。

2001.8.9

对钱学森的科学成就和大成智慧学的初步认识

徐 光 宪

我很高兴能参加“钱学森与现代科学技术”研讨会，收获很大，非常感谢北京大学现代科学与哲学研究中心发起和组织的这次活动。我认为这是庆祝钱学森先生九十华诞最好的方式。下面谈两点体会。

一、对钱学森的科学成就的认识

昨天听了于景元教授的报告，获益良多。他提到钱老是三维（高度、深度、广度）的伟大科学家，是科学的帅才。我很同意，再补充一点意见。我认为对一位科学家的成就的评价，有五个要素[1]：（1）原始创新性；（2）重要性；（3）系统性；（4）难度；（5）影响的深远程度，即影响在时间上的久远程度以及在地域（例如一个国家或全世界）和人口界别（例如化学界、生物学界、整个科技界、或全人类）上的广泛程度。其中，“原始创新性”相当于“高度”，“重要性”相当于“深度”，“系统性”相当于“广度”，再加上“难度”和“远度”，可总称为五维评价标准。用这一标准去衡量整个 20 世纪在各门自然科学和技术科学领域的伟大科学家的成就，可以把科学家分为三个层次：（1）二十名百年一遇的伟大科学家；（2）上百名十年一遇的伟大科学家；（3）上千名一年一遇的大科学家，即平均每年有约十名一年一遇的大科学家，其中包括诺贝尔奖获得者约 4—5 人，非

诺贝尔奖获得者约5—6人。

通常报刊上认为获得诺贝尔奖是科学家的最高荣誉。其实诺贝尔奖有两个局限性。其一,只限于物理学、化学、生理学或医学,不包括数学、技术科学、地球科学、信息科学等。其二,在20世纪100年中,共授予诺贝尔奖469人,其中物理奖162人,化学奖135人,生理或医学奖172人。在这469人中,他们(和她们)的科学成就的大小差别很大。其中90%是一年一遇的大科学家,约8%是十年一遇的伟大科学家,只有约2%才是百年一遇的伟大科学家。还有如DDT的发明者也曾获诺贝尔奖,他的学术成就本来就不大,现在DDT已被禁用。这是诺贝尔奖评审的失误。

钱学森从1935至1955年,在美国学习和工作20年,师从高速空气动力学和喷气推进技术的先驱和最高权威冯·卡门,是冯·卡门最得意的学生、合作者和接班人。冯·卡门退休后,钱学森任加州理工学院古根海姆喷气推进中心主任,成为美国气动力学和喷气推进科学技术的第一把手。钱学森的另一重大科学成就是在40年代维纳提出《控制论》后,于1954年发表《工程控制论》,创建了这门技术科学。1955年8月钱学森在回国前夕,带领全家向老师冯·卡门告别时,献上他写的《工程控制论》和《物理力学讲义》。74岁高龄的冯·卡门在仔细阅读后深情地说:“我为你骄傲,你现在在学术上已超过了我。”对于钱学森的离美,冯·卡门是万分痛惜的,他无限感慨地说:“美国把火箭技术领域中最伟大的天才、最出色的火箭专家奉送给了红色中国”。

由于他在20世纪科学技术发展中做出的巨大贡献,在美国召开的1989年国际技术与技术交流大会上,钱学森被授予“世界级科学与工程名人”称号,1999年又被媒体选为影响20世纪科技发展的20位世界级科技巨人之一(第一位是爱因斯坦,其次是玻耳、

海森堡、居里夫人等,钱学森名列第18,是20位中惟一的亚洲人)[2] 所以我认为钱学森是20世纪百年一遇的"双重五维"伟大科学家,他的成就远远超过十个一年一遇的诺贝尔奖获得者,他是中国人民的骄傲。1991年国务院和中央军委授予钱学森"国家杰出贡献科学家"荣誉称号。这是20世纪中国科学家惟一得到的百年一遇的殊荣。

"双重五维"的意思是指他不但在科学成就上是五维的伟大科学家,而且他的品德所具有的高度、深度、广度和一生事迹的难能可贵,以及他对当年留美学生返回祖国所起的巨大促进作用,和他回国后作为中国知识分子的楷模的深远影响,也达到了五维境界。这在20世纪世界级的伟大科学家中,也是很难企及的。他的品德也许只有居里夫人热爱波兰祖国和她的无私奉献精神可以媲美。钱学森说过:"我作为一名中国的科技工作者,活着的目的就是为人民服务。"这句话说得多么好呀!他确实是我们中国知识分子学习的最好楷模。

二、对大成智慧学的认识

近20年来,钱老把他的智慧和精力集中到创立大成智慧学和大成智慧工程,其内容博大精深,是钱老学术创新的第三个高峰。我想就大成智慧教育工程说一点意见。在钱学敏教授的论文中[3]提到,钱老关于学制的设想是:(1)8年的初级教育,4岁到12岁;(2)5年的中高级教育,12岁到17岁,完成大成智慧的学习,最后一年写出毕业论文,授予大成智慧硕士。这一新学制比现行学制提前5年大学毕业,是非常大胆的原始创新,如果能实现,可以大大加快人才的培养,加速中华民族的腾飞。但有许多问题要深入

研究，例如：(1)有否可能在17岁大学毕业？(2)有否可能在全国推行实施？

我和在座的朱兆祥同志是中学的老同学，60多年前我们都是浙江高等工业职业学校土木科的学生，我们在高一学完代数、三角、解析几何和微积分，以及国文、英语、化学、物理和体育，高二学应用力学、材料强度学、测量和实习、投影几何和机械制图学，以及木工、车床工、铸工和锻工等，高三学钢筋混凝土设计、桥梁结构、公路和铁路工程、房屋建筑学、城市给水和污水处理工程等。实际上和大学土木系的课程相差不多，用的也完全是大学用的厚本英文教材。这实际上是把高中加大学的7年学制压缩为3年，当时虽觉功课太紧，生吞硬咽，消化不良，但还是读下来了。现在钱老提出的学制比过去的高工延长了2年，加上现代信息技术的发展，我想要达到高中加大学的水平，是完全可能的。

钱老提出的8年初级教育是把小学6年加初中3年共9年压缩为8年。这样改革有没有可能呢？回想我们在小学和初中学习时，在算术四则运算和解鸡兔同笼等算术难题上花了大量时间，现在只要早一点教会用计算器，早一点讲代数，用X代替未知数，许多算术难题就可迎刃而解，几何证明题和三角恒等式的证明题都可适当精简，这样缩短一年学制是不难的。但要实现这个革命性的教育改革，要做可能性和可操作性研究，以及宣传、教材建设、师资培养、试点推广等大量工作。为此，我希望主持和主讲这次研讨会的同志们能发起成立“钱学森大成智慧学研究会”，下设“大成智慧教育工程分会”，我一定报名参加，把我有生之年，贡献给这一比“两弹一星”还重要的事业。尤其是当今日本内阁首相参拜靖国神社，美国侦察机侵略我领海，我们中国人必须协力同心、奋发自强，早日建成社会主义的强国。

参 考 文 献

1 徐光宪:《成功的十个要素》,《中国人才》,2000(1),第 11—12 页;2000(2),第 12—15 页。

2 《影响 20 世纪科技发展的 20 位科技巨人》,《中国科技画报》,1999(7),第 8 页。

3 钱学敏:《试论钱学森的"大成智慧学"》,《首都师范大学学报(社会科学版)》2001(3),第 11—23 页。

交叉科学研究大有可为

罗 先 汉

这次"钱学森与现代科学技术"研讨会,规模大、时间长、内容丰富,是北京大学现代科学与哲学研究中心近几年来举办的最成功的 -次科学讨论会。会上浓厚的学术气氛,使我情不自禁地回想起十多年来钱老的教导对我的治学生涯所产生的重大影响。

1989 年 9 月 12 日,经冯国瑞教授介绍,我有幸在系统学讨论班上初次直接听到钱学森先生关于开放的复杂巨系统及其研究方法论的重要讲话。他说,由 10^{12} 个神经元组成的人脑,相当于 10^{12} 个大型计算机并联成网的巨系统,显然不能用简单的方法来研究。又说,由生态系统扩大而成的地理系统,也是开放的复杂巨系统。这个系统同太阳以至整个宇宙都有联系。他还语重心长地指出,现在研究太阳的不大考虑地球,研究地球的不大考虑太阳,这种互不通气的状况是不利于科学发展的;而如果采用定性与定量相结合的方法(后来进 -步发展为从定性到定量的综合集成法)去研究

各类开放的复杂巨系统并取得成效,那将是科学史上的一件大事。

那时候我正在为北京大学现代科学与认识论讨论班(即现在的现代科学与哲学研究中心的前身)准备一个关于天体演化方面的报告。受钱老上述讲话的启示,我在报告中把地球所处的太阳系也看做一个开放的复杂巨系统,认为它同周围的银河系环境应当存在相互联系和相互作用,并试图从这方面解释地史上记载的诸多灾变现象。这个报告的内容虽然以《现代天体演化理论及其哲学思考》为题,作为"现代科学发展的哲学思考"专栏的首篇文章,在《北京大学学报》(哲学社会科学版)1990 年第 3 期上发表,但其中关于天文灾变解释的论文摘要,却没有被随后的一个专业学术会议接受。主要原因可能是当时的解释只有定性猜想而没有定量估算。

我在接着的一年多时间内,普查了有关的地史资料和银河系观测情况,知道在距今约 6 亿年以来的显生宙期间,地球上曾发生过大约 4 次全球巨变事件(即以生物大量灭绝、地磁倒转和大冰期为主要标志的地球灾变事件)。问题是这些全球巨变是否同太阳系当时所处的银河系环境有关以及为什么有关?为了回答这些问题,我便从众多资料中选择了一张结合光学和射电观测而勾画出来的最新银河系结构图像和有关的运动数据,并且沿着太阳系围绕银河系中心(银心)运动的轨道,把太阳系现在的空间位置逐渐退回到它在以前的各个时期可能的位置,结果发现:距今约 6 亿年以来,太阳系曾先后穿越过银盘上的 4 条主旋臂。生物大量灭绝、地磁倒转频繁以及与大冰期相邻的温暖期,基本上都出现在地球跟随太阳进入银河旋臂的时期。地表陨星坑直径随年龄分布的数据则进一步为这些全球巨变的成因提供了重要证据:在旋臂内,地球更易受到较大直径的小行星和彗星的撞击。这些研究结果曾被

后来的多个学术会议接受并在若干书刊上相继发表。从这里我体会到采用定性与定量相结合的方法研究在银河系内运转的太阳系是很有意义的。

然而,专业分工过细的状况并不令人乐观。关于天地生交叉科学方面的研究,在提职、报奖和申请基金时,经常会被看做是不务"正业"之举;只有尽量冲淡乃至回避这方面的内容、专攻"正业",才可能有所"收获"。相反,一些科学记者和学报编辑则比较乐意看到有关综合交叉的东西。1995年10月25日,刊登在《中国科学报》上的《试论全球巨变的天文成因》一文,就是该报记者从我已在有关书刊上发表的研究结果中摘录出来的。不久,《世界科技研究与发展》杂志主编,来函约我也给他们写一篇相同类型的文章。在这种比较顺畅的情况下,我才鼓起勇气,把研究地球发展史的时间尺度从距今6亿年扩展到距今几十亿年,写出《试论银心说及其应用》一文,并很快在该刊1996年第1期上发表。文中把银心作为我们所在星系(银河系)的中心,去观察分析包括太阳系演化在内各种有关天象的见解,称为银心说。应用银心说,不仅可以揭示近6亿年来地球上多次发生的各类全球巨变事件的银河旋臂成因,而且还可以对太阳系的形成、地球水的来源和地球生命的起源等课题进行初步解释。文中还指出,与历史上从地心说跃进到日心说的情况不同,现在从日心说过渡到银心说所遇到的阻力很小,而且迄今以来可能产生的影响也会很小。

上文发表不久,我先后从钱学敏教授和于景元教授那里得知,这篇文章钱老不仅看到,而且还把它的复印件也批示给他们看。这完全出乎我的意料,也使我非常感动。一位年近85岁的科学大师,竟能在浩如烟海的文献中,找到我的这篇小文并给以如此的重视,真是令人敬仰、催人奋进。特别是钱老在随后给我的来信中表

示"希望我们国家对此有兴趣的专家们能结合起来促进这门天地学问的研究",则更为我们今后的工作指出了前进的方向。

在以上工作的基础上,在北京大学现代科学与哲学研究中心讨论班和交叉信息科学讨论班活动的启发下,近几年来我逐渐把研究领域从银河系扩大到包容天地万物的世界——宇宙。因为以20世纪初期为界的天文上观测到的宇宙,前后是明显不同的:在此前,人类的天文视野仅局限在银河系、甚至太阳系内,观测深度不过10万光年;而在此后,由于全波段天文观测的兴起,人类的天文视野也日益从银河系扩大到河外星系以至整个宇宙,观测深度已达150亿光年。显然,对现代观测宇宙的研究,便于人们的宇宙观念从传统的单纯哲学思辨阶段向现代科学与哲学相结合的阶段转变。

各类天体的形成和演化事实表明,在现代观测宇宙中,对立统一规律仍然可以作为基本规律被确定下来,但还应包含中心主导律、层次依从律、和谐生存律等更加丰富的内容。同时,引人注目的是,生命系统的遗传和进化,似乎也遵从对立统一规律及其三个分支规律。但应指出的是,观测宇宙中最基本的系统中心是早期宇宙的微小混沌体,那里的基本粒子所携带的信息决定了宇宙后来的演化;而生命系统最重要的中心是细胞核,那里的脱氧核糖核酸(DNA)携带有全部原初遗传信息,并在后来的生命成长过程中继续发挥作用。由于生物大分子是在各种粒子的基础上形成的,因而生命信息是在宇宙信息的基础上更为复杂的信息。看来,深入开展不同层次的物质系统及其信息的研究,有可能把天地人系统的研究有机地统一起来,把自然科学、社会科学及各门交叉科学统一起来,把辩证法和认识论统一起来,继续在钱学森先生指出的"大成智慧学"大道上突飞猛进。

“钱学森与现代科学技术研讨会”的启示

李 兰 芳

首先，衷心感谢本届研讨会（“钱学森与现代科学技术研讨会”）的组织者——北京大学“现代科学与哲学研究中心”的赵光武先生、冯国瑞先生、罗先汉先生、卢明森先生、苗东升先生、李少军博士。中心自1989年就致力于组织这样高水平的研讨会，请各方面专家、学者们免费作报告，听众免费听。我深信，金钱买不到的才是最有价值的。中心的先生们实在是令我们感动，作报告的专家、学者们也同样令我们感动。因此，我也非常感谢诸位报告人的精彩报告。同时，我也对在讨论中积极发言的先生们深表谢意。

如果把我们的研讨会称为“科学俱乐部”是毫不为过的。早在19世纪，科学已有综合的趋势。而在Internet已成为我们生活中不可缺少的一部分的今天，打破学科壁垒，已是大势所趋。因此，酷暑当头，连年逾八十的老科学家朱兆祥先生、老教授李佩先生都场场必到。自7月22日到8月8日的研讨会，每天都在讨论的高潮中结束，每天都感觉时间飞得太快，每天都觉得意犹未尽。于是，每天都会有老少的影子滞留在会场或交流中心旁边，继续讨论着。因此，就有了今天（8月9日）的专门讨论会。

听了十八天的研讨会，如果说头几天的感受是“听君一席言，胜读十年书”的话，那么现在，我简直等于换了一个人。钱老的思想博大精深，钱老的人格令我钦佩，在座的诸位先生也深深地影响着我。我以为在市场经济大潮中人们都去抓钱了，科学家也不例

外,我也曾为这种情况深感痛惜。没想到这次研讨会改变了我的看法。我似乎是在茫茫的沙漠中找到了绿洲,找到了清泉。钱老作为一名真正的科学家,关心的是祖国振兴,献身的是科学事业,追求的是真理。在座的科学家又何尝没有如此高尚的人呢?又何止一个、两个?由此,我看到了民族的希望。诸多的感触,在我心中交汇成一个大大的问号:"我该做些什么?"

钱老已不仅仅是一名著名的科学家,他更是一位伟大的思想家。钱老的研究领域已远远超出了力学、航天等范围。他建立了现代科学技术体系结构、社会主义建设体系结构,并提出"从定性到定量综合集成方法"和"从定性到定量综合集成研讨厅体系"所构成的综合集成方法论。七、八十年代以来,钱老一直致力于研究我们社会主义建设中的问题。与会的一位先生指出,钱老的这些思想如果被国外先吃透了,我们会更加落后。因此,我们要加大宣传力度。赵少奎先生刚才讲到,要借着钱老九十寿辰力争在各大主要媒体——电视、报刊上宣传钱老的思想,使有关部门早日认识这一宝贵思想财富。我认为,我们也不要急于求成,西方能够提出和平演变战略,我们也应有战略眼光,不仅要影响当代的领导人,也要影响未来的主人。

这届研讨会的事,我曾告知过四、五百个学生,由于种种原因,一个学生也没来。这说明研讨会在学生思想中并未引起足够的重视。我认为,大学生的世界观已初步形成,世界观教育最好在十几岁之前就开始进行。所以,宣传钱老的思想也必须从娃娃抓起。只有用正确的思想武装后代,中华民族才会立于不败之地。钱老早在20世纪80年代就已指出,21世纪是智力战时代。我们的国家要站得住,一定要有比较多的人才,在智力上我们要很强大。钱老认为,如果努力做,2000年就可以使孩子4岁上学,先接受8年

一贯制的初级教育,4岁到12岁,是打基础。接着的5年(高中加大学),12岁到17岁,是完成大成智慧的学习;后一年是"实习",学成一个行业的专家,写出毕业论文,成为全与专的大成智慧硕士。钱老认为,这样的大成智慧硕士,可以进入任何一项工作,如不在行,弄一个星期就可以成为行家。以后如工作需要,改行也毫无困难,他也可以深造为博士,主要是搞科学技术研究,开拓知识领域。钱老认为,这是新一次的"文艺复兴"。(这个问题在钱学敏先生的《试论钱学森的"大成智慧学"》一文中讲得很清楚。)现在已进入21世纪,当代国际间的竞争就是人才的竞争。"科教兴国"战略也正是在这一时代背景下提出的。记得鲁迅先生曾经说过,天才大半是天赋的,独有培养天才的泥土,似乎人人都可以做。为了更好地实施"科教兴国"战略,我们应该去做培养人才的泥土,钱老的大成智慧教育工程就是要做这培养人才的泥土。

我认为,实施大成智慧教育工程除了走上层路线之外,还可以走民间路线。正如钱老所支持的沙产业、草产业,一定要先做出点成果,社会、国家自然会承认。走民间路线是有可行性的。据我所知,我国年轻一代的父母对后代的投资几乎是不惜血本的。如果能使他们了解到大成智慧教育工程,资金是不难筹集到的。启动资金的筹集,可以与私立学校合作去解决。这项工程一旦启动成功,我相信,中国的腾飞指日可待。

我愿意去做这方面的推动工作!

谢谢大家!

科学的哲学关怀

在"钱学森与现代科学技术"研讨会上的发言

曹　家　和

马克思主义哲学告诉我们，要用全面的、系统的、联系的、发展的观点看问题。对待科学问题同样也不能例外，不能孤立地、片面地、静止地看待科学问题。因此，对待科学或科学思想，我们也不妨将它放到人类文明史的发展背景上来考察，从世界观、人生观的高度来理解科学发展的内在本质，既要讲还原论也要讲整体论，在方法论上形成必要的张力，这也是符合辩证法的。

热爱科学、尊重科学，但也不要唯科学主义，也应该充分地认识到科学与人文之间的相互关系。文艺复兴时期，针对中世纪的神学霸权，科学与人文共同发扬理性精神，鞭挞愚昧。而今，随着科学技术的发展，人类面临着核武器的威胁、生态环境的污染、生命伦理问题的困惑，面对"作为'意识形态'的技术与科学"（哈贝马斯），技术与科学是否也应该考虑到它的社会历史构成与人文关怀，使理性因素与非理性因素、智力因素与非智力因素、定性因素与定量因素之间能够得到有机的统一，而不是割裂开来？

不仅如此，在科学史上，也有许多事例给我们以启示：爱因斯坦、哥德尔等著名科学家，分别在13岁和16岁时就阅读康德的著作（著名科学哲学家波普尔15岁时开始阅读康德的著作），哲学对科学家的影响与启迪贯彻终生。在第一流的科学家身上，往往也同时具有深厚的哲学修养，这大概不是偶然的。1892年，少年爱因斯坦就在麦克斯·塔耳牧（Max Talmey）的介绍下阅读康德的《纯

粹理性批判》(参见:Max Talmey《简化的相对论及其创造者的形成时期》),直到1918年他在给M.玻恩的信中还提到:“除了做别的一些事情之外,我正在这里读康德的《绪论》(《任何能作为科学而出现的未来形而上学的绪论》),并且开始理解到这个人所散发出来的和仍在散发的那种发人深思的力量。只要您一旦对他的先验的综合判断的存在让了步,您就会落入圈套。我必须把这个‘先验的’冲淡为‘约定的’,才不致同他非发生矛盾不可,……”也正是在对待时间、空间的观念上受到康德哲学的启示,爱因斯坦才从“先验的”走向“约定的”,最终导致相对论的产生。这不也是由哲学定性走向了物理学定量过程的吗?对这一思想认识,钱老与爱因斯坦真是不谋而合,真可谓英雄所见略同。

通过这次研讨会对钱老的学习和理解,也使我进一步加深了对科学与哲学相互关系的认识。一般来说,科学着重于对客观世界的认识,追求主观对客观的正确反映。在这种主客关系活动中,科学更多地表现在具体的、局部的关系上,而哲学则能提供一种全局意识、总体关怀,形成正确的世界观、人生观来把握具体的科学行为。钱老对于马克思主义哲学的辩证唯物主义的深刻理解,他早年在美国求学时期就积累了一定的思想基础。他学的是工科专业,同时却也特别重视理科课程,理工兼蓄又文理兼通。同时,在严格的工科可操作性训练中所贯穿的唯物主义方式,使他深刻地认识到辩证唯物主义对于一个科学工作者的指导意义,这既可以说是哲学对于科学的价值,同时也可以说是科学对于科学家的哲学启迪。马克思主义哲学的创立,也曾受到19世纪细胞学说、能量守恒定律、生物进化论等自然科学的启迪。这也说明哲学同样需要科学的关怀,这是辩证的,只是站在一个科学工作者的立场,我更强调哲学对于科学的关怀,所以我发言的题目才叫做“科学的

哲学关怀”，但应辩证地去理解。

钱老漫长而又具体的科学实践，进一步加深了我们对于科学本质的认识，拓宽了我们对于科学的认识视野：科学的真理不仅在于认识客观世界，而且也必须注意到科学真理的社会文化构成及其哲学运思，使真理与价值得到统一。最后，让我用爱因斯坦的一句话作为结束语：“第一流人物对于时代和历史进程的意义，在其道德品质方面，也许比单纯的才智成就方面还要大。即使是后者，它们取决于品格的程度，也远超过通常所认为的那样。”

附录二：

钱学森的部分书信

李德华同志：

您在元旦给我的信和《地形匹配技术原理研究总报告》、《地形匹配技术原理研究的技术鉴定证书》都由李国平教授亲自交给我了。

您对我是过誉了，我愧不敢当，只有在工作中加倍努力，以答您的希望。

关于您院院长朱九思同志提出的加强国防科研部门同高等院校的协作关系，我已告国防科工委科学技术委员会主任张震寰同志，他完全赞同，并嘱秘书长李庄同志在今后工作中注意。

我对您的工作是很感兴趣的，因为模式识别不但有许多应用，又是一门应用科学，或称技术科学。而地形匹配则是一项工程技术，犹如水利工程。这样就导致人们去考虑，有没有更基础的理论，象基础科学？我想是有的，即思维学，它是研究人思维的规律的；又可按人的思维类型分为抽象（逻辑）思维学，形象（直感）思维学及灵感（顿悟）思维学。目前只第一种思维学有点门道，其他两门尚在摸索。模式识别、科学语言学都会为形象（直感）思维学提供素材。

这样从工程技术到技术科学，再到基础科学就形成了完整的

一个现代科学技术大部门——思维科学。在目前所谓信息社会即将到来时，开发思维科学是有重大意义的。您愿意作这支队伍中的一员吗？我们正在求找同道

附上拙作两篇，请指教

此致

敬礼！并请向李教授问安

钱 学 森

1984年1月23日

李德华同志：

谢谢您二月十日给我的12页长信。您们做了很多工作，令人十分感动！但印发了“思维科学论文集”，我过意不去，因为在北京讨论会上的稿子不成熟呀！现在才修改了，准备登在《大自然探索》上。那篇讲第五代计算机的东西，也是经过修改才登在《自然杂志》上的。

先成立地方学会，我没有意见。几个地方成立学会，也可以互相学习，比比高低，大有好处。对您那里的学会叫什么名字，大家看着办吧。

您信中讲的四个方面的研究工作，我觉得很好。我只是对第一个方面从脑科学成果中抽象出新的有限自动机理论，不那么乐观。Arbib在1964年讲的，只是原则，具体做起来恐不易。

其余三个方面，我看核心是一样的。都是把人的形象（直感）思维数理化，数理化了就能上计算机，上了计算机就能解决知识获取问题、专家系统问题和模式识别问题。所以您提出的工作实际上是从三个途径去探索形象（直感）思维数理化，途异而同归。

对形象（直感）思维数理化的课题，也就是上次会议上讲的“突

破口"任务,我最近和洪加威同志、马希文同志讨论后,认为:是把非单调逻辑的推理线索联成网,构成非常复杂的网络,形成逻辑"巨系统"。巨系统就可以出现"协同"现象,即简单逻辑所没有的功效:从逻辑转向形象(直感)思维!洪加威同志在去年6期的《中国科学A辑》上有篇文章与此有关,您可以看看。

我这些话有没有道理?请教!

所以我在赶超世界先进水平这个问题上是乐观的,您不必一定要等到您五十四岁的那一年!

此致

敬礼!

钱　学　森

1985年2月26日

×××副总理:

奉上几个关于草原草业的材料:

(一)甘肃省草原生态研究所所长任继周来信及他在七届全国政协的提案。

(二)我在1985年写的两篇东西。

不久前原农业部副部长老农业科学家杨显东对我说:"60亿亩草原草地比耕地大四倍,是我国极大的一笔财富;可惜现在已沙化20亿亩,如不大力抢救利用,是我们的罪过"。

我看这60亿亩要区别对待:有大约15亿亩是在农区或林区的草地草山,这些仍属大农业或大林业,可归国家农业部或国家林业部管;农业部现在就有畜牧局。问题最严重的是43亿亩草原和大约2亿亩沿海盐碱草滩,这45亿亩潜在资源不受重视。不受重视,因为这45亿亩年产值才几个亿!但我们要看到,搞好了,真正

运用现代科学技术,年产值可以达到几千亿人民币!

但这是项社会主义建设的长远事业,45亿亩的事业要用几十年的艰苦努力,不能放在眼前工作已经十分繁重的国家农业部去管。我建议国务院考虑设国家草业局,专管草原及草滩。将来到二十一世纪,国家会有草业部。

以上建议不知当否,请指示。

此致

敬礼!

钱 学 森

1989年1月24日

吴良镛教授:

我近日读到7月25日、26日《北京日报》1版,7月30日《人民日报》2版关于菊儿胡同危旧房改建为"北京的'楼式四合院'"的报道,心中很激动!这是您领导的中国建筑大创举!我向您致敬!

我近年来一直在想一个问题:能不能把中国的山水诗词、中国古典园林建筑和中国的山水画溶合在一起,创立"山水城市"的概念?人离开自然又要返回自然。社会主义的中国,能建造山水城市式的居民区。

如何?请教。

此致

敬礼!

钱 学 森

1990年7月31日

李毓堂同志:

近日又看到一些材料,现附呈两份。那份垂直折流厌氧污泥床反应器的研究是高技术了。

从这些材料我想到一个问题:在下个世纪我们国家应该利用生物科学技术,通过饲料工厂,把下列现在作为废弃物的东西,生产大量畜禽的饲料,使饲料年产量比现在扩大几十倍、几百倍、上千倍:

1)畜禽粪便;

2)畜禽产品加工中废弃物;

3)城市粪便及部分垃圾;

4)草及农作物秆节;

5)木本植物叶、枝;

6)工业废液、气、物。

当然还要加菌种和添加剂。饲料工厂还可以产生沼气,除供饲料工厂自己用之外,可能还会作为燃气供生活用。

正如附上的两份材料,近年来我国对饲料生产已做了大量工作,国外也有许多成果可用,开始上述事业的条件是具备的;更何况生物科学技术正在大步前进。故提出这个想法,请考虑是否有当。这关系到我国二十一世纪的食品供应大问题。

此致

敬礼!

钱 学 森

1990年9月24日

李德华教授:

您在党成立70周年纪念日写的信,《华中理工大学周报第575期》及珍贵照片三张都收到。我首先要向尊大人李国平教授问安,

我也要向您祝贺晋升为教授,我也要对您的信、书及照片表示感谢!我也希望长江水位骤涨不给你们带来大的困难。

信中所提形象思维问题,我请戴汝为同志回答您,他们在一个多月前曾开过一次研讨会。我只想说两点意见,供您考虑。

(一)人的形象思维发展较抽象思维早,幼儿有形象思维,但可能还没有抽象思维。所以不宜把形象思维纳入抽象思维的路子;而这个毛病是容易犯的。我以为形象思维似重在整体,是感觉所接收的"形"与脑中库存的"形"搜索比较,搜索到"同形",即以脑中对该"形"的经验,作为感觉到的"形"的判断。丰富的实践及知识是形象思维的基础,这与抽象思维很不一样。

(二)研究形象思维比较难,因为老路子不成功,几十年了呀!您作为一个研究所的负责人,研究工作年年要有成果,所以不应以形象思维为全部研究内容,要搞一些短期研究。我建议考虑 virtual reality(我译为"灵境")方面的课题;MIT 的 Media Laboratory 就在大搞。

以上请酌。

此致

敬礼!

钱 学 森

1991 年 7 月 13 日

李毓堂同志:

今天是 1992 年元旦,我向您拜年!

读了您去年 12 月 24 日信及大作《草业系统工程的理论与模式》,以及内蒙古引黄灌溉草业的报告,感到对中国的草产业的几点想法,谨陈述如下:

(一)草产业的理论在您和大家努力下,已有了个初步的框架,今后还要在实践经验的总结中不断提高。

(二)这几年,我国草产业已有不少成功的试点,从实践中证明草产业的概念是可行的,大有前途的。但也要看到,已有的成就离知识密集型的草产业还有很大的距离;我说的第六次产业革命还未起步。因为生物科学60年来的科学革命和高新技术,在草产业的应用还差得远(见全国高技术新技术农业应用学术讨论会专家组报告《高新技术农业应用的成就和展望》)。真正知识密集型草产业的出现,中国的第六次产业革命,将在21世纪下半叶。

(三)知识密集型的草产业可否用一句话来概括?即:这个草产业要最有效地把草原草地草滩上的太阳光能,首先通过植物,然后动物,再加水资源、能源及其他工业材料的投入,最后产出的是直接上市场零售的商品。所以是草业加深度加工业。

举个例子:日本人曾发现,把畜类的骨头磨成粉浆,可以制成"骨头豆腐",既营养,又可口。

(四)所以草业协会要大力宣传知识密集型草产业及第六次产业革命的光辉前途,要看到21世纪!光明的未来!

(五)看到美好的未来了,中国人就要通过革命的实践去创造这个未来。这就要研究困难和障碍在何处。现在许多领导同志讲我国社会主义建设就是不提草业;……。"八五"计划和十年规划对"草"就讲得最少!这必有深层次的原因,60亿亩地的大事呵!草业协会应该下功夫探讨这个问题。

以上五条请草业协会的同志考虑。也算是祝贺草业协会的成立。成立大会就不一定去了。

此致

敬礼!

钱 学 森

1992年1月1日

吴良镛教授：

4月1日信及尊作《"山水城市"与21世纪中国城市发展纵横谈》都收到，我十分感谢！

读了您的文章更使我感到，在建国初年如北京市能采纳梁先生的建议，将新城建于西山脚下，那今日的北京可以都如香山饭店那样优美了！我们要吸取教训呵！

此致

敬礼！

钱 学 森

1993年4月7日

于景元同志：

4月28日信中您提的意见很好。

我认为SFI的先生们开创了用巨型电子计算机直接去探索开放的复杂巨系统，从"半微观"入手，找出可能出现的宏观行为，是对我们很有用的。是我们专家中的一位"SFI机器人专家"。所谓"半微观"是说在建立计算机程序时，已经引入我们对微观混沌的认识，所以比微观层次高一些，但又不是系统的宏观规律。至于怎样去抓"半微观"而建立计算机程序，我们要从深入学习他们的工作中，逐步总结出此中学问。所谓genetic algorithm是其一。

这位"SFI机器人专家"对活人专家来说，它更"理论"些，不那么靠实践的感性认识，对探讨高速发展变化的系统更能给我们些启发。但又因为巨型电子计算机也不够真正模拟复杂巨系统，所

以它又只是一位“专家”之一得之见。但我们需要这一得之见为综合集成用

因此我建议开展这一工作。

此致

敬礼!

钱 学 森

1993年4月30日

戴汝为同志:

收到您7月11日信后,读了好几遍,对我启发至深!您从中国传统文化中的“意”与“象”的关系,把它们都作为整体宏观的思维来考察,把“意”作为最高的理性认识,“象”则为感性认识。这是注入了从定性到定量综合集成的思想,好极了!

Arnheim的《视觉思维》只说到“象”。中医的“望闻问切”是经过医生用学问和经验综合判别为医“象”,但怎么治病,还要进一步用中医的人体宏观理论,阴阳和金木水火土相生相克的理论,加临床经验,再上升为治病的“意”。您最后的P(I',S')是思维认识的简洁表达。我们的大成智慧工程与大成智慧学就是这个思想。您把形象思维和抽象思维融为一体了。

用此理论培养学生,就可以适应我前次给您去信提出的问题:如何迎接即将到来的多媒体技术和灵境技术世界。当然讲辩证统一,还靠马克思主义哲学(见附图)。

以上请教。

此致

敬礼!

钱 学 森

1993年7月16日

鲍世行同志：

我想中国城市科学研究会不但要研究在今天中国的城市，而且要考虑到21世纪的中国，城市该是什么样的城市。所以我前些日子曾寄上《自然杂志》上的一篇讲未来高层建筑的材料。现在我再奉上《科学画报》1993年9期，其中将来城市的文章及图片可供参看。

所谓21世纪，那是信息革命的时代了，由于信息技术、机器人技术，以及多媒体技术、灵境技术和遥作技术(telescience)的发展，人可以坐在居室通过信息电子网络工作。这样住地也是工作地。因此，城市的组织结构将会大改变：人同家庭可以生活工作、让孩子上学等都在一座摩天大厦，不用坐车跑了。在一座座容有上万人的大楼之间，则建成大片园林，供人散步游息。这不也是"山水城市"吗？这个想法对不对？请教。

此致

敬礼！

钱学森

1993年10月6日

钱学敏教授：

您是要写那篇大成智慧学的宏文，我现在为此提供点素材，供您采用。

第一，讲讲我个人学习的过程。在20年代，我在北京师范大学附属中学上学，高中在理科，称二部（一部为文科）。当时学的是理、工结合的。一般数理化课之外，还有伦理学，也学过非欧几里

德儿何学，也学过工业化学。

30年代初入上海交通大学学机械工程(铁道门),基本上是工程课，但教电机工程的钟兆琳教授和教热力学的陈石英教授都非常重视理论根底。

30年代中期到美国MIT及CIT学习,MIT重在工;而CIT则强调理、工结合。我在CIT选修了不少理科课程,如微分几何、复变函数论、量子力学、广义相对论、统计力学等。博士论文也是用数理理论解决工程技术问题。后来十几年在MIT及CIT教学做研究,从薄壳理论、气动力学、火箭技术、工程控制论、物理力学等,也都是理、工结合,用“理”去解决“工”中出现的新问题。

50年代中叶回归祖国,也是搞理、工结合的国防尖端技术,共20多年。

“文化大革命”使我觉悟。感到只是理与工是不够的,不懂得社会科学不行,所以开始下功夫学社会科学,也涉及哲学。当然这时早已懂得只有马克思列宁主义毛泽东思想才是真理。

终于在80年代中叶,认识到:要建立以马克思主义哲学为最高概括的科学技术体系。

第二,讲讲我个人在研究问题中的创新过程。在30年代中期到40年代初,当我碰到疑难问题时,苦思不得其解,总是形象(直感)思维,甚至是灵感(顿悟)思维解决问题。这是说我头脑中框框太多,不能从理论上触类旁通,得靠形象,甚至靠梦境。这种困境,后来逐渐缓解,不用做梦了,推敲一阵子就能看出问题所在。

但真正做到触类旁通是在懂得了科学技术以及知识体系之后。

第三,因此马克思主义哲学居于科学技术以及知识体系之首,才是触类旁通的钥匙。创造力来源于马克思主义哲学,而用这个

观点看科学技术以及知识体系，就是大成智慧学。

毛泽东同志在50年代后期就指出质子、中子、电子等所谓基本粒子也是可分的，没有到头。邓小平同志在80年代提出科学技术是第一生产力。皆大成智慧学也。

第四，认知过程是无穷的，知识是无穷的。过程、历史、发展、前进，永无止境。我们现在知道的只是一小块，我们不知道的才是大海！

第五，既然马克思主义哲学是智慧的泉源；在一切阶级社会中，由于阶级斗争的影响，教育也有阶级性，所以不可能用大成智慧学来办教育。这是阶级社会的局限性！同时，这又是我们社会主义中国的优越性，我们可以自豪！

看：进士、状元的臭文章！

我在20年代之所以受到第一流教育是因为老师们都不同程度地恨国民党！

第六，我用了70年的学习才悟到以上道理，太长了。能不能用不到20年就学到？可以的。用人机结合，用信息技术，用信息网络。第五次产业革命呵！

以上六条，供您参考。不当之处，请指教。

蒋英和我也就此向

长彬教授和您　　拜年！向

伯母大人恭贺　　春节！祝您

阖第快乐！

钱学森

1994年2月7日

于景元同志：

您9月18日来信收到,看来我们这几个人的想法还是有其可取之处的。近一个时期报刊上对我国社会上出现那么许多不正之风也有不少论述,但还没有看到一篇比较全面地提出全面解决的办法 所以我们要研究。

下面我提点想法供讨论。

(一)我们应该用历史唯物主义来看今天我国的社会情况。我记得我曾说过,在一次社会革命之后总有许多事情,由于人们跟不上变化了的环境,会出现大量怪现象。在莎士比亚的许多戏剧中就讲英国社会由封建社会转入资本主义社会的第一次产业革命后,爆发出来的丑事。在我国现代中国的第一次社会革命,毛主席是有远见的,多次讲了"入城"后要主观上有准备,所以在新中国成立后,能较快地解决了领导干部中的一些不正之风。现在是现代中国的第二次社会革命了,而且在经济体制有这么大的变化,由政府全面管死到全面放开,只有政府的宏观调控。所以问题就来了!不必大惊小怪,但要用科学的态度、用马克思主义哲学为指导,设计出全面解决的方案。

(二)在我们面临的现代中国第二次社会革命,全世界已进入世界社会形态。这是客观条件。

(三)在设计全面解决的方案时,我们要用最先进的方法——科学的方法、现代科学的方法。不能像18世纪解决技术问题时用的纯经验方法、瓦特式的方法!我们要用MIT首创的把科学理论同工程实际结合起来的理工结合的方法,这方法后来在CIT更进一步结合成为理工结合的技术科学方法。对我们来说,这就是系统工程的观点:我们要用系统工程去攻现代中国第二次社会革命出现的问题。

(四)但社会是复杂巨系统,所以方法也必须是从定性到定量

的综合集成法。这又是国家级的总体设计部了。

(五)目前是现代中国的第二次社会革命,但也要预见现代中国的第三次社会革命,为它做准备而不是设置障碍。

(六)要明确:现代中国的第二次社会革命要造就一个社会,其中每一个人都能为全社会的利益而行动;团结合作,不单干、不做不利于集体的事、方法用行为科学,也就是一靠教育、二靠法。

以上当否?请酌。

我们现在宣传我们的思想是时候了。

此致

敬礼!

钱 学 森

1995年9月24日

戴汝为同志、钱学敏同志:

您二位到医院来看我,谈的问题都十分重要,我一直在思考。现在我已痊愈,一切恢复如常,已于10月20日回家。

写这封信,是为了讲一个想法,请您二位考虑并指教。

读了清华大学张钹教授的《近十年人工智能的进展》,认为"人工智能"从按设计者的思想设计出一个机器去按规定执行这一工作开始,现在是要机器能象人那样在变化多端的环境中完成某一方面的工作。这是很大的扩展!对这一大变化,国外人工智能专业工作者似乎没有认识到:(1)机器要认识工作对象;(2)机器要认识工作环境;(3)机器认识了工作对象和工作环境这种千变万化的情况后要能做出正确的判断,选出工作方案去执行;(4)在执行中也会发现有原来方案不足或有误,要修正。换句话说,机器要象人那样感觉和思考!这是说人工智能是一项系统工程,要用多种学

科,只有所谓"人工智能"是远远不够的,要用控制论(讲反馈外部情况),用系统科学;还有思维科学。

其实说到底,是要机器干人作的事,人工智能还需要了解人,即人体科学的知识。至于部件设计要用自然科学知识,认识工作环境需要社会科学等等,也不能忽略。这不是涉及整个现代科学体系了吗?所以未来的人工智能工作是人-机结合的一项"大成智慧"工程!

我们一旦进入这样的人工智能世界,人类也跟着改造了。将会出现一个"新人类",不只是人,是人-机结合的"新人类"!附上一"New Scientist"9月16日期文*的复制件可参阅。

我们人民中国向此方向努力,也是为了促进世界共产主义的早日实现!新世界!

此致

敬礼!

钱 学 森

1995年10月23日

*《Oh Look—he's brought me a present》

载:《New Scietist》1995年9月16日。

罗先汉教授:

您近日来信及尊作《试论银心说及其应用》、《搜索近地小行星的一种射电天文方法》都收到,对此我很感谢!

此外,在重庆出版的《科学》杂志1996年3期53~58页有一篇王立功同志写的《无情的地狱之火》也是讲天地关系的。您见到否?

我们最关心的地球表层环境是受地外的天影响的,也受内部

地球的影响。这是地理科学的根本。我希望我们国家对此有兴趣的专家们能结合起来促进这门天地学问的研究。当否?请酌。

此致

敬礼!

钱学森

1996年4月4日

鲍世行同志:

您6月19日信收到。再版座谈会也开完了吧?

您说"山水城市"的核心精神主要是:"尊重自然生态,尊重历史文化,重视科学技术,面向未来发展,对于这一点一定要全面地、正确地理解,并非仅是搞一些具体的挖水堆山。"这很好!我想这也是放大眼光,从现代科学技术的体系来看"山水城市",要站得高、看得远,运用马克思主义哲学、辩证唯物主义!这就需要建立起现代科学技术体系中的第十一个大部门——建筑科学部门!

对建筑科学大部门,我们6月4日谈的还待深入。顾孟潮同志也对此有很好的考虑,那天他没有来得及谈到。请您二位内行人多研究,您们最有发言权。

此致

敬礼!

钱学森

1996年6月23日

鲍世行同志:

您9月5日来信及稿费200元都收到,《东方视角》杂志想也即日可见。

经过大家的共同努力，山水城市及建筑科学的确受到重视。这是我深有体会的：早些时候我曾提出要建立地理科学大部门，并立于自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学、人体科学、军事科学、行为科学与文学艺术九大部门，形成现代科学技术体系的十大部门；但除了少数人之外，反应不很强。但这次提出建筑科学大部门却引起大家的支持，山水城市也如此。什么原因？这是我们该好好反思的。

我想可能有两个方面的原因：

（一）居室及工作环境是人们都有日常体会的。您信中说的群众对您广播讲话的反应不就是这样吗？而地理环境却不是群众都有切身体会的。

（二）从学科大部门来看，（这是学者们重视的）地理科学只是自然科学与社会科学的交叉结合，而建筑科学则是自然科学、社会科学和美术艺术的三结合，更复杂高超！

从这两方面体会建筑科学和其哲学概括——建筑哲学的意义，令人感到构筑建筑科学这一现代科学技术体系的第 11 个大部门的重要，这是中国建筑界城市科学界的历史任务！我们要用以马克思主义哲学来指导，用建筑科学来建立 21 世纪社会主义中国人居环境！

我这些想法对不对？请您指教。您也可以同顾孟潮同志谈谈，我也向他请教。

此致

敬礼！

钱学森

1996 年 9 月 15 日

钱学敏同志:

近一个时期我一直在翻阅您送来的冯契教授著的4本书,也在思考"大成智慧学"。我也翻看了吴国盛主编的《自然哲学》。

我想我们宣传的"大成智慧"与他们不同之处就在于微观与宏观相结合,整体(形象)思维与细部组装向整体(逻辑)思维合用;即不只谈哲学,也不只谈科学;而是把哲学和科学技术统一结合起来。哲学要指导科学,哲学也来自科学技术的提炼。这似乎是我们观点的要害:必集大成,才能得智慧!此意如何?请教。

为此我又把上述五本书送还到您处。

……

就写到这里。

我向长彬教授问好!

此致

敬礼!

钱 学 森

1997年4月6日

朱畅中教授:

您7月27日信及尊作《"山水城市"探》都由鲍世行同志转来了。

您对"山水城市"的理解很好。前几年国家建设部就曾命名几个城市,内有北京市,为"园林城市",所以"园林城市"是初级的,不够"山水城市"。近年重庆市也在计划建"山水园林城市",我看了其草案,也不够"山水城市",只可能比北京这样的"园林城市"高一等级而已。所以我们说的"山水城市"是建设有中国特色的社会主义的一个大课题,还待深入探讨。希望您为此多做贡献!

我想“山水城市”也是新世纪的大事，所以它必然也是高新技术建筑的城市 这很重要。您以为如何？

此致

敬礼！

钱 学 森

1997 年 8 月 7 日

李毓堂同志：

您 9 月 12 日来信祝贺中秋节，我很感谢！剪报复制件及《青青中国草》一册也收到。

中国草地面积广，草业前途甚广；要走现代化的发展道路成为草产业。快速、高温、低耗牧草烘干技术生产的优质豆科草粉应加紧建设。我前见报端有用草炭养微生物生产蛋白质饲料的建厂报道，也有用有机垃圾生产饲料的报道。这些引起草业界同志注意了吗？

农业产业化已得到中央的重视，江总书记在十五大的报告中已论及；草业产业化呢？

以上不知当否？请教。

此致

敬礼！

钱 学 森

1997 年 9 月 21 日

周长路同志：

您 8 月 18 日来信已由包建中同志连同您市向农业部的请示转给我了；我要向您表示感谢！

把"三色农业"作为您市高技术产业示范区的内容是有远见的,是新的产业革命的开始,我祝您们成功!

此致

敬礼!

钱 学 森

1998 年 9 月 5 日

鲍世行同志、顾孟潮同志:

您二位 11 月 3 日信收到。我很赞成山水城市研讨会在深圳市召开。深圳是我国改革开放后的第一个特区,可以说是我国城市建设的一个样板,在这里召开会议讨论面向未来的"山水城市"是有重大意义的。

此外,对我个人来说,深圳是我滞留美国 20 年后,于 1955 年乘客轮横渡太平洋在九龙登陆后,走上祖国的第一城!我也记得,在边界就见到五星红旗和毛主席像的激动心情!

祝在深圳召开山水城市研讨会成功!

此致

敬礼!

钱 学 森

1998 年 11 月 10 日

鲍世行同志:

您 6 月 7 日来信及尊作《攀枝花城市规划的历史回顾》都收到。现在回顾那个时代真令人感慨千万!但现在我们要认真总结那样拔地而起、从无到有地建设一座工业城市的经验,这是城市科学的重要内容。所以您的文章很重要。

但我现在也想:攀枝花市能建成为一座山水城市吗?我们应该这样去探索!请考虑。

此致

敬礼!

钱 学 森

1999年6月12日

戴汝为院士:

您5月16日来信及大作《Internet——一个开放的复杂巨系统》都收到,我也拜读了。我很感谢!

您的文章很好,是我辈多年来一直在研究的;现有如此成果,很了不得。我也近日来在报章上多次读到江泽民总书记讲的"三个代表"的要求,这不就是处理一个开放的复杂巨系统吗?您们正得此方法,真是大好事!我希望您成功!

……

此致

敬礼!

钱 学 森

2000年5月21日

赵永亮、郝诚之同志:

您二位2001年5月20日给我的信和"关于内蒙古东达蒙古王集团在库布其沙漠实施沙柳综合利用产业化工程"的材料,我都看到了,非常感谢!

看了您们的材料,我认为内蒙古东达蒙古王集团是在从事一项伟大的事业——将林、草、沙三业结合起来,开创我国西北沙区

21世纪的大农业！而且实现了农工贸一体化的产业链，达到沙漠增绿，农牧民增收，企业增效的良性循环。我向您们表示祝贺，并预祝您们今后取得更大成就！

此致

敬礼！

钱 学 森

2001年5月30日

附录三:

名 词 解 释

一、力 学

声障

在 20 世纪 30 年代末期,当飞机的速度逐渐提高而接近声速时,会出现阻力剧增、操纵性能变坏和自发栽头的现象,成为提高飞机速度难以逾越的障碍。随着空气动力学研究的深入,逐步掌握了高速流动的规律,飞机外形设计不断改进,声障也就成为一个历史名词

热障

在 20 世纪 30 年代末期,飞机速度逐渐提高,飞机附近的空气的密度发生显著的变化,空气的温度也相应显著增高,并对飞机的表面加热。特别对于超声速飞机和火箭来说,表面温度极高,必须研究和采取特殊的防热措施,人们称之为高速飞行所遇到的热障。

跨声速流动

当飞机速度提高到接近声速时,在飞机附近,一部分区域中空气相对于飞机的速度小于声速,而另一部分区域中此相对速度大于声速,这样的流动现象称之为跨声速流动。

喷气推进

根据动量守恒定律,火箭依靠向后喷出气体而获得向前的动量,称之为喷气推进。

二、航 天 科 技

航天(Space flight)

载人或无人航天器在太空的航行、探测、科学研究和开发活动,又称空间或宇宙航行,有时也泛指航天技术或航天工程。航天活动的主要目的是探索、开发和利用太空及地球以外的星体。航天活动包括环绕地球运行、飞往月球或其他行星,以及行星际航行和飞出太阳系的空间航行。通常把飞出太阳系外的航行称为“航宇”,太阳系以内的航行称为航天。

航天器(Spacecraft)

在地球大气层外,基本按照天体力学规律运行的各类飞行器,又称空间飞行器。航天器通常分为载人航天器和无人航天器两类。无人航天器按照运行轨道特征,又分为人造地球卫星和空间探测器;载人航天器按照飞行和工作方式不同,目前分为载人飞船、航天站和航天飞机。

载人飞船(Manned spacecraft)

能够保障航天员在外层空间生活和工作,执行航天任务,并返回地面的一次性使用航天器,又称宇宙飞船。载人飞船可以独立

进行航天活动,也可以作为往返于地球与航天站之间的渡船,还可以与其他航天器对接后进行联合飞行 1961年4月12日,苏联发射了第一艘由著名航天员加加林驾驶的"东方1号"宇宙飞船,完成了有史以来的首次太空航行,使人类首次能够从太空观察到自己居住的地球,人类迈出了征服宇宙空间的重要一步。

航天站(Space station)

可供多名航天员巡访、长期工作和居住的载人航天器,又称空间站或轨道站。空间站在科学研究、经济开发和军事上都具有重大价值,如天文观测、地球资源勘测、医学与生物学研究、新工艺与新技术开发、大地测量与军事侦察研究,以及为人类在太空居住和开发太空资源提供支持场所等。1971年苏联发射了世界上第一个航天站 "礼炮1号";1973年,美国发射了"天空实验室"航天站;1983年,欧洲航天局的"空间实验室"航天站进入了轨道,完成了70多项空间实验后返回地球;我国在著名的"863"预先研究项目中,也开展了航天站的专题研究工作。

航天飞机(Space shuttle)

一种可以重复使用、能够在地球与近地轨道之间往返运送有效载荷的飞行器。航天飞机是以火箭、航天器和航空技术综合集成的产物,集中了现代工程科学技术的最新成果。1949年,我国著名科学家钱学森首先提出了火箭助推的滑翔机作为洲际旅客运输工具的设想,即"火箭旅客飞机"的概念;1962年,钱学森发表了《星际航行概论》一书,又进一步阐述了航天飞机的技术设想。1972年,美国确定了现今的航天飞机技术方案;1981年4月,"哥伦比亚号" 航天飞机发射成功,人类在向宇宙空间进军的道路上

又迈出了重要的一步。

运载火箭(Launch vehicle)

把航天器运送到预定轨道的一种运载工具,通常由2~4级火箭组成。每一级火箭都包括箭体结构、推进系统和飞行控制系统,末级火箭一般还应装有遥测、外测系统和箭上安全系统,各级火箭之间由级间连接—分离机构整合在一起,实现各子级火箭之间的可靠连接,并按照控制指令准时分离。按照火箭结构形式不同,运载火箭分为串联火箭、并联火箭和串、并联火箭,我国著名的长征2号、长征3号和长征4号火箭都是串联火箭;长征2号捆和长征3号捆火箭,都是串、并联火箭。

导弹(Guided missile)

依靠制导系统控制飞行轨道的火箭或无人驾驶飞机式武器,其任务是把具有杀伤能力的弹头运送到敌方目标附近引爆,并毁伤敌方目标。当今世界,导弹种类繁多,外形与质量差异甚远,如洲际导弹质量可达100~200吨,反坦克和便携式地空导弹,一个人就可以随身携带,随时发射。据初步统计,半个多世纪以来,世界各国提出和研制的导弹有600种之多,其中仍然服役的不下300种。为了研究、试验、使用和组织管理的方便,通常按照导弹采用推进剂的种类、作战任务、弹道特征和发射点与目标点位置不同等进行分类,以后者为例,可以分为地地导弹、舰地导弹、地空导弹、舰空导弹、空空导弹和空地导弹等。

弹道导弹(Ballistic missile)

除主动段有动力飞行外,大部分弹道只在地球引力作用下,沿

椭圆形轨道运行的一种进攻性导弹武器。这种导弹武器飞行速度高、射程远,极具威慑力。它的主要战术技术指标包括射程、命中精度、弹头杀伤威力、突防能力、生存能力、作战反应时间、可靠性、保障性和作战使用环境条件等。随着技术进步与军事斗争理论的发展,弹道导弹技术也在不断发展,出现了全程制导的弹道导弹

八年四弹(Development four missiles in eight years)

在我国《1956—1967 年科学技术远景规划》指导下,当时的国防部五院制定了《1965—1972 年地地弹道导弹发展规划》,按照这一规划要求,在八年内要完成 DF-2 中近程导弹、DF-3 中程导弹、DF-4 远程导弹和 DF-5 洲际导弹的研制工作,结束我国第一代地地弹道导弹的试验阶段。这一规划经周恩来总理主持的中央专门委员会会议批准、实施。

两弹结合试验(Test of combine missile with nuclear weapons)

通过导弹发射核弹头,进行核弹爆炸试验,通常称为"两弹结合试验"。这种试验对导弹、核弹技术水平,特别是可靠性要求很高,要冒很大风险,不轻易进行。1966 年 10 月 27 日,我国在西部地区进行了人类历史上迄今为止惟一一次导弹发射核弹头爆炸试验,震惊了世界。这一试验成功标志着我国已经拥有具有自卫能力的导弹核武器。

太阳同步轨道(Sun-synchronous orbit)

轨道平面绕地球自转轴旋转的方向与地球公转方向相同、旋转角速度与地球公转平均角速度相等的人造卫星轨道。在太阳同步轨道上运行的卫星,以相同方向经过地球同一纬度的当地时间

相同。如卫星由南向北经过北纬40度某地上空是早晨8点,以后再经过北纬40度该地上空的时间也是早晨8点。这样就可以设计卫星轨道,使其经过某地上空时始终是具有良好光照条件的早晨,保证太阳能电池供电充足,有利于卫星工作。因此,气象卫星、地球资源卫星和照相侦查卫星多采用太阳同步轨道。

地球同步轨道(Geosynchronous orbit)

运行周期与地球自转周期相同的顺行人造卫星轨道,俗称24小时轨道。不考虑卫星轨道摄动的影响,在地球同步轨道上运行的卫星,每天在相同时间经过相同地方的上空。对观测者而言,每天相同的时间,卫星出现在相同的方向上。

地球静止卫星轨道(Geostationary satellite orbit)

星下点轨迹在地球赤道上一个固定点的地球同步轨道,也称地球静止轨道。在地球上看,在这种轨道上运行的卫星是静止不动的,所以,称其为静止卫星。这种卫星轨道很高,距地面35786公里,对轨道精度要求很高,发射难度很大,世界上只有少数国家能够发射。我国的长征3号、长征3号A、长征3号B和长征3号C运载火箭都具有发射地球静止轨道卫星的能力。一颗静止轨道卫星可以覆盖地球40%的地区,3颗静止轨道卫星可以覆盖全球,因此,静止轨道卫星对卫星通信、广播和气象观测十分有利。

人造地球卫星(Articial earth satellite)

绕地球在空间轨道上运行的人造无人飞行器,简称人造卫星。人造卫星是用途最广、发展最快、目前发射数量最多的航天器,约占航天器发射总数的90%以上。

1957年10月4日,苏联发射了世界上第一颗人造卫星,命名为“人造地球卫星1号”,卫星呈球形,外径0.58M,重83.6kg;美国于1958年2月1日首次发射了人造卫星“探险者1号”,重量仅8.2kg;我国于1970年4月24日发射了“东方红1号”人造卫星,重达173kg,成为世界上第五个具有发射人造卫星能力的国家、名副其实的航天大国。

三、思 维 科 学

联机手写汉字识别

手写字符模式识别中的一种,不是通过键盘、而是通过与计算机连接的特殊的书写板和笔,将构成字符的笔画按照书写顺序依次输入计算机,实际上是把二维图形的字符分解为一维的笔画序列,计算机处理的就是这些一维的笔画序列;相对脱机手写汉字识别来说比较简单。

脱机手写汉字识别

手写字符模式识别中的一种,不是通过键盘、而是通过扫描仪把已经手写在纸或其他载体上的字符输入计算机,实际上输入的是一种特殊的二维图形或图像,因为手写习惯多种多样,同一字符也变化多端,很不规则,所以计算机处理这些不规则的二维图形或图像,要比联机手写汉字识别复杂、困难得多。

汉王公司

中国科学院自动化研究所文字识别试验室的对外机构,负责

试验室技术与产品的对外合作、开发、生产与经营。现任总裁刘迎建是1987年入学的戴汝为的博士研究生,曾对汉字识别技术做出过突出贡献,是1991年"手写汉字识别的理论与方法"获得国家自然科学一等奖的第一获奖人。

OCR

英文 Optical Character Recognition 的缩写,意思是光学字符识别,是通过扫描仪或摄像获取纸上的文字图像信息,利用模式识别方法判断出字符,并以通用格式存储在文本文件中,是一种文字自动输入方法。

四、地 理 科 学

遥感

指成像传感器搭载在航空与航天平台(飞机、卫星、航天飞机等)上,从而对地球表面进行的"遥远的感知"的技术,是当今主要的对地观测技术。"遥"随着卫星的航高越高,使获得的影像的视野越大,所以极大地扩展了人类的视野;"感"随着传感器性能的扩展,波段超出了可见光,许多人眼看不见的波段转变成可见图像,所以极大地扩展了人类的视阈。遥感技术是当前重要的高新技术,遥感信息是当前能够获取地表最多的信息,所谓"海量"数据,主要是指遥感数据。

遥测

指气象站、水文站、地震站、海洋站等地面实测台站的数据以

及社会、经济等统计数据,经过计算机地面光纤网络传送或卫星微波传送到数据中心,经过数据中心的资料整编,再发送给用户的高新技术。

全球定位系统

利用多卫星网络,测出地面上任意点的经度、纬度、高度,可对地面移动目标进行定位,美国发射了24颗高度在20200公里高空的卫星,世界各地至少可以接收到4颗卫星的信息,可以准确地测定自己的位置。

虚拟现实

钱学森称为"灵境技术",也有称"临境技术"的。即利用计算机三维技术,把计算机屏幕上的图像调出屏幕,在"空中"呈现三维图像,人可以进入图像,好像身临其境一样。

地理信息系统

地理信息系统是在辅助自动制图与数据库的基础上建立起来的一种计算机软件工具,它具有图与数之间编辑、复合、提取、查询、分析等功能,新一代的地理信息系统还将有信息模型计算的功能,是国民经济许多领域内的有用软件。

专家系统

专家系统是人工智能的一个分支,专家系统实际上是一个领域内的代表高智商的部分专家的知识,通过专家系统可以普遍提高领域水平的软件系统

管理信息系统

管理信息系统实际上是管理系统中的计算机化,或者是信息化。管理涉及许多人,因此管理信息系统必须在网上进行。目前的办公自动化仅仅是初级的管理信息系统。

辅助决策系统

在若干个管理信息系统的基础上建立的对策信息系统,计算机辅助决策不等于决策,而是提出许多种的对策,如优化对策,风险对策等,可供领导者选择;对策与领导者的决心,构成决策。

五、草 产 业

草地类型

在一定时空范围内,反映草地发生和演化规律,具有一定自然特征和经济特征的草地单元。

草地载畜量

在草地一定面积和利用时间内,在适度利用原则下,能够维持草地生态良性循环并保证家畜正常发育、繁育的最大饲养量。

草地生产力

单位面积的草地在一定时间内存在的牧草或收获可用畜产品的数量。一般以产草量或畜产品单位进行衡量。

畜产品单位

计算不同畜产品产量的通用标准单位 一般以生产1公斤牛羊胴体为1个畜产品单位。其他畜产品折为畜产品单位的算法是:牛奶7.7公斤:1;绵羊毛1公斤:5;山羊绒1公斤:25;牛皮1公斤:20;山羊皮1公斤:4.5

草地植保

草地植被保护,包括:防治鼠虫害、消除毒草,防治牧草病害,草原防火,对黑灾(旱灾)、白灾(雪灾)预防等。

后　　记

这次关于纪念钱学森先生九十华诞的学术研讨活动，最初的动议于2001年2月4日提出，以后每个星期天召开一次会议，反复策划、设计，逐个联络、邀请报告人，不断协商、调整，到4月初才基本确定下来。被邀请来的17位学者都是我国学术界的英才骨干，工作繁忙，时间宝贵，各有自己紧张的日程安排。但他们在百忙中精心准备讲稿，把自己的最新研究心得贡献出来。不少同志在准备自己的报告之外，还帮助我们完成了某些组织工作。研讨会结束后，在一个月左右的时间内，作者们又都按时交来报告修改稿，使我们能够在预定的期限内向出版社交稿。半年多来，我们得到各位报告人的大力支持和精诚合作，是本次学术研讨会和本书编撰宗旨圆满达成的主要保证。借本书出版的机会，北京大学现代科学与哲学研究中心的全体同仁谨向朋友们致以最诚挚的谢意。

本书的基本内容来源于这次研讨会。研讨会采取一人一个题目作报告的方式，很容易被读者当成一个论文集。但我们在开始策划之初就决定不出论文集，力求形成一本专著。钱学森的一生十分丰富多彩，涉及政治、军事、文化、教育等众多方面，但核心是在科学技术领域的创造性活动。作为本研究中心组织的关于“钱学森学”的第一次学术活动，我们决定聚焦于钱老的科学技术工作，不涉及其他方面，故研讨会和专著都命名为《钱学森与现代科

学技术》。

在科学技术领域，钱学森的活动几乎涉足现代科学的所有大的部门，一次研讨活动不可能包罗无遗。我们只能有所选择，确保把那些必须讲清楚、目前也能够基本讲清楚的贡献尽量讲清楚，其他方面则留待以后再作研究。由此确定了全书正文三部分的18个报告题目。一些朋友针对此会、此书的“不完全”表示了遗憾，我们完全理解；他们的意见表现了学术界对钱学森研究的关注，令我们感到鼓舞。但辩证法告诉我们，在现实世界中，“全”是相对的，“不全”是绝对的，而事物总是沿着从无到有、从不完全到比较完全的路线逐步发展的。系统地研究钱学森的过程刚刚启动，一个过程的开头尤其是不完全的，不完全的事物才有未来。我们愿与更多的志同道合者在今后的研讨活动中携手合作，以求消除这些遗憾。今后如何组织类似的活动，敬请朋友们多多指教。

钱学森的科学技术活动范围极其广阔，不同部分之间乍看起来似乎没有什么联系，但深入思考不难发现，其间实有内在的联系，都统一于他所独创的现代科学技术体系中。不同时期的钱学森，科学研究的重点不断变化，往往跨度很大，似乎有逻辑的断层，但仔细琢磨就可以找到他的学术思想特有的发展演变逻辑，都是通向他晚年倡导的大成智慧学的必经之路上的驿站。我们力求通过科学的统筹设计，通过全体作者的分工合作，通过组织讲演稿，到建议作者修改定稿，再到最后统稿，努力把这些特点体现出来，努力用这种内在逻辑把所有报告文本有机地整合起来，形成一本专著。努力是努力了，效果究竟如何，只能由读者和专家们来评论。“嘤其鸣也，求其友声。”我们真诚地期待着听取各方面的批评、指正。

细心的读者必定会发现，本书的不同部分在写作风格、语言特

征等方面存在差别，有些观点甚至是相互矛盾的。这是因为不同部分由不同的作者写就，文如其人，不同的社会经历、专业背景、知识结构和个人修为等因素必然反映到各自的文字中来。在大观点一致的前提下，尽量尊重作者的个人观点，实行文责自负，是合作著书的通行原则，也是我们努力坚持的原则。换个角度看，存在某些差异甚至矛盾未必就是瑕疵，它可以为读者留下独立思考的空间，引导读者参与争论，同作者交流。这颇有意义。不同观点的争鸣是学术活动的生命力所在，钱学森研究要保持科学性，要有持久而旺盛的活力，同样需要坚持百家争鸣。

本书能够顺利问世，与人民出版社的大力支持分不开。在研讨会的筹划阶段就得到他们接受书稿的郑重承诺，解除了后顾之忧，使我们可以把全部精力集中于学术组织工作。人民出版社的郇中建同志与我们密切合作，从编辑出版的角度给我们以指点，保证了这部专著能够在钱老诞辰之前保质、按时地与读者见面。让我们以本书全体作者的名义向人民出版社的同志们表示衷心的感谢。

总而言之，本书是集体设计和集体创作的产物。在某种意义上，这也算一种综合集成吧。以综合集成的精神，拿出综合集成的作品，献给综合集成方法论的倡导者，也是我们的一种追求。作为第一次，我们自知做得非常不够，但来日方长，我们愿意努力。

征得人民出版社的同意，《中国工程科学》杂志从今年第8期起，选择了我们的部分报告，以压缩稿的形式陆续发表，既扩大了这次会议的影响，也介绍和推动了对钱老思想的研究。对于他们为宣传钱老的科学思想和科学精神所做的贡献，我们表示钦佩。

我们感谢北京大学和北京大学哲学系校、系两级领导的关怀和支持，感谢北京大学有关部门提供的各种物质保障条件，感谢新

闻战线的朋友们，特别是人民日报(海外版)、中央电视台科技部、京华时报等单位，他们的及时报道也对宣传钱老的科学精神起到不可替代的作用。我们也感谢中华书局等单位以及参加研讨会的所有同志的热情支持。

本书各部分的作者为：前言：赵光武；序1：宋健；序2：马宾；序3：许智宏；总论：于景元、冯国瑞；第1章：谈庆民；第2章：赵少奎；第3章：郑应平；第4章：苗东升；第5章：卢明森；第6章：马霭乃；第7章：张最良；第8章：鲍世行；第9章：成思危；第10章：刘恕；第11章：李毓堂；第12章：黄顺基；第13章：戴汝为；第14章：钱学敏；第15章：黄楠森；第16章：涂元季；后记：苗东升。附录部分的整理由卢明森负责，其中，名词解释由谈庆民(力学)、赵少奎(航天科技)、马霭乃(地理科学)、鲍世行(建筑科学)、李毓堂(草产业)提供。全书由苗东升、冯国瑞、赵光武统稿。

[General Information]
书名=钱学森与现代科学技术
作者=
页数=477
SS号=0
出版日期=
Vss号=61675625

附录页